

# **Gear changing coordination control device for automobile drive train has switching manager coupled to respective driver stages for engine, servo clutch and transmission**

**Patent number:** DE19937455

**Publication date:** 2000-04-27

**Inventor:** BOLZ MARTIN-PETER (DE); HUELSEH HOLGER (DE); LOEFFLER JUERGEN (DE)

**Applicant:** BOSCH GMBH ROBERT (DE)

**Classification:**

- International: F16H63/40

- european: B60K41/28E1

**Application number:** DE19991037455 19990807

**Priority number(s):** DE19991037455 19990807; DE19981048520 19981021

**Also published as:**



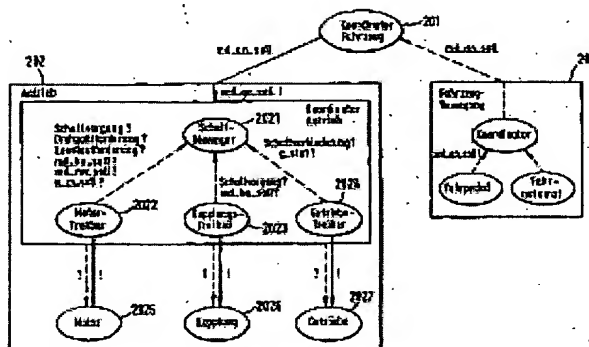
WO0023732 (A1)



EP1046001 (A1)

## **Abstract of DE19937455**

The control device uses a switching manager (2021), for operation of the servo clutch (2026), the engine (2025) and the transmission (2027) via respective driver stages (2022, 2023, 2024) during the gear changing. The engine driver stage is supplied with required values for adjusting the engine torque or the engine revs, the clutch driver stage is supplied with required values for adjusting the maximum torque transfer and the transmission drive stage is supplied with required values for adjusting the transmission ratio. An independent claim for a gear changing coordination control method for an automobile drive train is also included.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide





19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 199 37 455 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
F 16 H 63/40

21 Aktenzeichen: 199 37 455.4  
22 Anmeldetag: 7. 8. 1999  
43 Offenlegungstag: 27. 4. 2000

DE 199 37 455 A 1

66 Innere Priorität:  
198 48 520. 4 21. 10. 1998

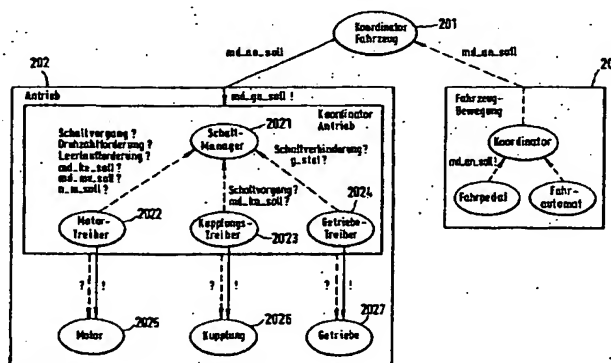
71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Loeffler, Juergen, 71364 Winnenden, DE; Bolz,  
Martin-Peter, 71720 Oberstenfeld, DE; Huelser,  
Holger, Dr., 70329 Stuttgart, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Vorrichtung und Verfahren zur koordinierten Steuerung des Antriebsstrangs eines Kraftfahrzeugs während Getriebeschaltvorgängen

57 Die Erfindung betrifft die koordinierte Steuerung der im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeuges angeordneten Elemente Servokupplung, Fahrzeugmotor und Getriebe während einer Änderung der Getriebeübersetzung. Hierbei sind jedem dieser Elemente des Antriebsstrangs eine Treiberstufe zugeordnet, die mit den Koordinationsmitteln verbunden ist. Erfindungsgemäß geben die Koordinationsmittel während der Änderung der Getriebeübersetzung der Motortreiberstufe wahlweise entweder Sollwerte zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments oder Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vor. Darüber hinaus geben die Koordinationsmittel der Kupplungstreiberstufe Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vor. Weiterhin kommen von den Koordinationsmitteln zu der Getriebetreiberstufe Sollwerte zur Einstellung einer Getriebeübersetzung.



DE 199 37 455 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur koordinierten Steuerung des Antriebsstrangs eines Kraftfahrzeugs während Getriebebeschaltvorgängen mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche.

Bei Fahrzeugen mit einem automatisierten Schaltgetriebe und einer elektronisch betätigten Kupplung erfolgt ein automatisierter Gangwechsel durch Ansteuerung der Komponenten Motor, Kupplung und Getriebe. Hierbei sollen diese Komponenten geeignet angesteuert werden, so daß der Gangwechsel möglichst schnell und dabei aber auch komfortabel erfolgt.

10 Der Soll-Getriebeingang wird geeignet ermittelt, z. B. durch Schaltkennlinien oder durch andere Verfahren, wie sie z. B. in der DE 196 25 935 A oder DE 197 03 863 A beschrieben sind. Weicht der so bestimmte Soll-Gang vom Ist-Getriebeingang ab, so muß ein automatisierter Gangwechsel vorgenommen werden.

In bekannten Systemen erfolgt die Kontrolle des Schaltablaufes im wesentlichen durch die Kupplungssteuerung, die dabei Signale mit der Getriebesteuerung und der Motorsteuerung austauscht. Die Ermittlung des Fahrerwunschmomentes erfolgt in der Motorsteuerung. Während des Schaltvorgangs nimmt die Kupplungssteuerung Eingriffe in die Motorsteuerung vor, im wesentlichen um eine Reduktion des Motormomentes zu erreichen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Verbesserung der Koordinierung der einzelnen Komponenten des Antriebsstrangs während der Änderung der Getriebegänge.

20 Diese Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

## Vorteile der Erfindung

Wie erwähnt betrifft die Erfindung die koordinierte Steuerung der im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs angeordneten Elemente Servokupplung, Fahrzeugmotor und Getriebe während einer Änderung der Getriebeübersetzung. Hierbei sind jedem dieser Elemente des Antriebsstrangs eine Treiberstufe zugeordnet, die mit den Koordinationsmitteln verbunden ist. Erfindungsgemäß geben die Koordinationsmittel während der Änderung der Getriebeübersetzung der Motortreiberstufe wahlweise entweder Sollwerte zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments oder Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vor. Darüber hinaus geben die Koordinationsmittel der Kupplungstreiberstufe Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vor. Weiterhin kommen von den Koordinationsmitteln zu der Getriebetreiberstufe Sollwerte zur Einstellung einer Getriebeübersetzung.

Durch die erfindungsgemäße Koordinierung der Ansteuerung der Antriebsstrangskomponenten sind schnelle und komfortable Getriebeingangwechsel möglich.

35 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß den Koordinationsmitteln erste Informationen über den Betriebszustand der Servokupplung und/oder zweite Informationen über den Betriebszustand des Getriebes und/oder dritte Informationen über den Betriebszustand des Verbrennungsmotors zugeleitet werden. Die Koordinationsmittel geben dann der Motortreiberstufe abhängig von den ersten, zweiten und/oder dritten Informationen entweder Sollwerte zur Einstellung eines Motorausgangsmoments bzw. eines Kupplungseingangsmoments oder Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl bzw. einer Getriebeeingangsdrehzahl vor.

40 Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die Koordinationsmittel der Kupplungstreiberstufe abhängig von den ersten, zweiten und/oder dritten Informationen Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vorgeben.

Dabei ist insbesondere vorgesehen, daß die Koordinationsmittel der Motortreiberstufe dann Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl bzw. einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben, wenn die Servokupplung im wesentlichen geöffnet ist. Die Änderung der Getriebeübersetzung findet im allgemeinen durch Ausrücken eines Startgetriebeengangs und durch anschließendes Einrücken eines Zielgetriebeengangs statt. Die Koordinationsmittel geben der Motortreiberstufe dann Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl bzw. einer Getriebeeingangsdrehzahl vor, wenn der Startgetriebeingang im Getriebe ausgerückt ist.

50 Geben die Koordinationsmittel die Drehzahl-Sollwerte vor, so ist insbesondere vorgesehen, daß die Ausgangsdrehzahl des Motors auf die Synchrongeschwindigkeit des Zielgetriebeengangs geregelt wird. Hierbei ist insbesondere bei Hochschaltvorgängen vorgesehen, daß durch den Motortreiber das maximal mögliche Motorschleppmoment eingestellt wird.

Anschließend geben die Koordinationsmittel der Motortreiberstufe dann wieder Sollwerte zur Einstellung eines Motorausgangsmoments bzw. eines Kupplungseingangsmoments vor, wenn der Zielgetriebeingang eingerückt ist. Darüber hinaus kann vorgesehen sein, daß die Koordinationsmittel weiterhin der Kupplungstreiberstufe dann Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vorgeben, wenn der Zielgetriebeingang eingerückt ist.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die Koordinationsmittel derart ausgestaltet, daß in Reaktion auf eine beabsichtigte Änderung der Getriebeübersetzung der Motortreiberstufe die Sollwerte zur Einstellung eines Motorausgangsmoments bzw. eines Kupplungseingangsmoments derart vorgegeben werden, daß das Motorausgangsmoment auf einen vorgegebenen oder vorgebbaren Wert reduziert wird. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, daß die Reduzierung mittels eines vorgebbaren Verlaufs, insbesondere innerhalb einer vorgebbaren Zeitdauer, geschieht und der Verlauf oder die Zeitdauer abhängig von der Änderung der beabsichtigten Getriebeübersetzung vorgegeben ist. Die Reduzierung kann dabei innerhalb einer vorgebbaren Zeitdauer rampenförmig geschehen.

Der vorgebbare Verlauf der Reduzierung ist vorteilhafterweise abhängig

- vom Gangsprung, also von dem Start- und Zielgetriebeingang,
- von der Leistungs- beziehungsweise Momentenanforderung des Fahrers,
- von der Fahrzeuggeschwindigkeit,

- vom Fahrertyp, beispielsweise verbrauchs- oder leistungsorientierter Fahrertyp,
- von der Fahrsituation, beispielsweise vom Fahrwiderstand, und/oder
- vom Betriebszustand der Aggregate, beispielsweise abhängig von der Motor- und/oder Kupplungstemperatur.

Weiterhin können die Koordinationsmittel derart ausgestaltet sein, daß der Kupplungstreiberstufe die Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments abhängig von den Sollwerten zur Einstellung eines Motor- 5  
ausgangsmoments bzw. eines Kupplungseingangsmoments vorgegeben werden.

Vorteilhafterweise geben die Koordinationsmittel die Koordinationsmittel der Kupplungstreiberstufe die Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments derart vor, daß das maximal übertragbare Kupplungsmo- 10  
ment auf einen vorgegebenen oder vorgebbaren Wert erhöht wird, wobei insbesondere ein erster Verlauf der Sollwerte vorgegeben wird. Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, daß der vorgebbare erste Verlauf der Reduzierung abhän-  
gig ist

- von dem Start- und Zielgetriebegang,
- von der Leistungs- beziehungsweise Momentenanforderung des Fahrers, 15
- von der Fahrzeuggeschwindigkeit,
- vom Fahrertyp,
- von der Fahrsituation und/oder
- vom Betriebszustand der Aggregate, beispielsweise abhängig von der Motor- und/oder Kupplungstemperatur. 20

Weiterhin kann vorgesehen sein, daß die Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebe-  
eingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß ein zweiter Verlauf der Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangs-  
drehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgegeben wird.

Die Einstellung der Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl  
kann durch die Einstellung eines indizierten Motormoments geschehen, wobei das aktuell einzustellende indizierte Mo- 25  
tormoment

- abhängig von wenigstens einem im ersten Sollverlauf in der Zukunft liegenden Sollwert für die Ausgangsdreh-  
zahl des Motors und/oder
- abhängig von dem vorgegebenen ersten Verlauf der Sollwerte und/oder 30
- abhängig vom Betriebszustand des Motors, der Kupplung und/oder des Getriebes

ermittelt wird.

Die Einstellung der Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl  
kann weiterhin durch Vorgabe der Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments gesche- 35  
hen, wobei das aktuell einzustellende übertragbare Kupplungsmoment

- abhängig von wenigstens einem im ersten Sollverlauf in der Zukunft liegenden Sollwert für die Ausgangsdreh-  
zahl des Motors und/oder
- abhängig von dem vorgegebenen ersten Verlauf der Sollwerte und/oder 40
- abhängig vom Betriebszustand des Motors, der Kupplung und/oder des Getriebes

ermittelt wird.

Der Kern der Erfindung ist also die koordinierte Ansteuerung von Motor, Kupplung und Getriebe bei Fahrzeugen mit  
automatisiertem Schaltgetriebe und elektronischer Motorleistungs- bzw. Motormomentensteuerung zur Steuerung des 45  
Schaltablaufes. Ein Bestandteil des Verfahrens ist die Basierung auf dem vom Fahrer gewünschten Antriebsmoment. Ins-  
besondere ist vorgesehen, daß das Antriebsmoment vor und nach der Schaltung identisch ist, sofern der Motor innerhalb  
seines Leistungsvermögens betrieben wird.

Vom Motor kann während der Schaltung stets das geeignete Moment gefordert werden. Dies ist bei Systemen, bei de- 50  
nen die Ermittlung des Fahrerwunschmomentes durch die Motorsteuerung erfolgt nur bedingt möglich.

Das Wiedereinkuppeln während des Momentenaufbaus kann so gesteuert werden, daß am Ende der Schaltung das  
Soll-Motorausgangsmoment derart gefordert wird, daß das vom Fahrer gewünschte Antriebsmoment realisiert wird. Die  
Berücksichtigung des Fahrerwunschmomentes auch während des Schaltablaufes ermöglicht eine optimale Vorgabe vom  
Motor- und Kupplungsmoment.

Erfindungsgemäß ist es möglich, die Schaltung zeitoptimiert und komfortabel vorzunehmen. Dies erhöht sowohl die 55  
Fahrsicherheit als auch den Fahrkomfort.

Eine besonders vorteilhafte Variante der Erfindung besteht in einer prädiktiven Drehzahlregelung, wobei die Dreh-  
zahlregelung von Verbrennungskraftmaschinen durch Vorgabe eines indizierten Momentes erzielt wird. Dabei ist ein ge-  
wünschter Drehzahlverlauf gegeben, so daß neben der Solldrehzahl zu einem aktuellen Zeitpunkt auch Solldrehzahlen zu  
zeitlich in der Zukunft liegenden Zeitpunkten bekannt sind. Die gewünschte Drehzahl soll auch bei veränderlichem Last- 60  
moment exakt eingestellt werden. Diese Situation tritt insbesondere während Schaltvorgängen auf, die durch eine koor-  
dinierte Motor-/Getriebesteuerung gesteuert werden.

Die prädiktive Drehzahlregelung von Verbrennungskraftmaschinen erlaubt die präzise Realisierung von Drehzahlver-  
läufen bei variablem Lastmoment. Das zum Erreichen eines vorgegebenen Drehzahlverlaufs erforderliche indizierte Mo-  
ment wird zu diskreten Zeitpunkten errechnet. Kern dieser auf einem Systemmodell des Motors und der Last basierenden 65  
Vorgehensweise ist die Berücksichtigung zukünftiger (prädizierter) Solldrehzahlen und Lastmomente zum Zeitpunkt der  
Berechnung des indizierten Moments. Die prädiktive Drehzahlregelung wird durch den übergeordneten Koordinator, der  
den Gangwechsel auslöst, aktiviert. Mit Herstellung des Kraftschlusses im Antriebsstrang im Zielgang wird der Algo-

rhythmus beendet.

Hierzu ist vorgesehen, daß die erwähnten Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß ein erster Sollverlauf der Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgegeben wird.

Insbesondere ist dann vorgesehen, daß die Einstellung der Sollwerte zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl durch die Einstellung eines indizierten Motormoments geschieht. Hierbei wird das aktuell einzustellende indizierte Motormoment abhängig von wenigstens einem in dem ersten Sollverlauf in der Zukunft liegenden Sollwert für die Ausgangsdrehzahl des Motors ermittelt.

Weiterhin kann vorgesehen sein, daß Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments derart vorgegeben werden, daß ein zweiter Sollverlauf der Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vorgegeben wird. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, daß das aktuell einzustellende indizierte Motormoment abhängig von wenigstens einem im zweiten Sollverlauf in der Zukunft liegenden Sollwert zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments ermittelt wird.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

#### Zeichnung

Die Fig. 1 zeigt die Erfindung anhand eines Übersichtsblockschaltbildes, während die Fig. 2 und 3 die Einbindung der koordinierten Antriebsstrangsteuerung und des Schaltmanagers in die Gesamtfahrzeugsteuerung aufzeigen. Die Fig. 4 und 5 geben die einzelnen Phasen eines Schaltvorgangs an. Die Fig. 6a, b und c stellen den Datenaustausch zwischen einzelnen Elementen der koordinierten Antriebsstrangsteuerung während eines Schaltvorgangs dar. Die Fig. 7, 8 und 9 zeigen den zeitlichen Verlauf einzelner Schaltphasen, während die Fig. 10 eine Rechenvorschrift zur Bestimmung des Soll-Motorausgangsmoments in der Phase Momentenaufbau beschreibt. Die Fig. 11 bis 14 offenbaren Drehzahl- und Momentenverläufe zur prädiktiven Drehzahlregelung, während die Fig. 15 die prädiktive Drehzahlregelung anhand eines Blockschaltbildes skizziert.

#### Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen dargestellt.

Durch eine Antriebsstrangsteuerung erfolgt der Gangwechsel bei einem Fahrzeug mit einem automatisierten Schaltgetriebe (ASG) und elektronisch betätigter Kupplung durch eine koordinierte Ansteuerung 111 der Komponenten Motor, Kupplung und Getriebe. Die Fig. 1 zeigt die Systemarchitektur der Antriebsstrangsteuerung.

Das vom Fahrer gewünschte Antriebsmoment wird durch die Antriebsstrangsteuerung 111 in Abhängigkeit von der relativen Stellung hfp des Fahrpedals 110 und der Fahrzeuggeschwindigkeit  $n_{ga}$  ermittelt. Von der Motorsteuerung 101a wird ein Motorausgangsmoment  $md_{ma\_soll}$  oder die Einstellung einer Motordrehzahl  $n_{m\_soll}$  verlangt. Die Kupplungssteuerung 103a wird beauftragt, die Kupplung so einzustellen, daß diese ein Moment  $md_{ka\_soll}$  übertragen kann. Alternativ kann auch die Vorgabe einer Soll-Lage oder einer Soll-Kraft des Aktuators, der die automatisierte Kupplung 103 betätigt, vorgesehen sein.

Das Getriebesteuergerät 105a wird vom Koordinator 111 beauftragt, den Soll-Getriebeingang  $g_{soll}$  einzustellen.

Durch eine geeignete Sensorik 102, 104 und 106 werden die Motordrehzahl  $n_m$ , die Getriebeeingangsdrehzahl  $n_{ge}$  und die Getriebeausgangsdrehzahl  $n_{ga}$  erfaßt und der Antriebsstrangsteuerung 111 zur Verfügung gestellt. Außerdem teilen die Steuerungskomponenten 101a, 103a und 105a der Antriebsstrangsteuerung 111 weitere Signale mit, die im Zusammenhang mit der Funktionsstruktur der Antriebsstrangsteuerung erläutert werden.

#### Struktur der Koordinierten Antriebsstrangsteuerung

Anhand der Fig. 2 wird die Struktur der koordinierten Antriebsstrangsteuerung 11 und ihre Einbindung in eine Gesamt-Fahrzeugsteuerung beschrieben. Sie erfolgt gemäß einem Ordnungskonzept für Steuerungen, Regelungen, Sensoren und Aktuatoren eines Fahrzeuges. Dargestellt sind Objekte der koordinierten Antriebsstrangsteuerung und der Informationsfluß für ausgewählte Größen.

Der Koordinator Fahrzeug 201 beauftragt den Antrieb 202, ein Antriebsmoment  $md_{an\_soll}$  bereitzustellen und dabei eine Leistungs- bzw. Momentenreserve  $md_{anv\_soll}$  vorzuhalten, die der Motor innerhalb eines Arbeitstaktes (z. B. über den Zündwinkel) zusätzlich realisieren kann. Er steuert die Leistungs- bzw. Momentenaufnahme  $md_{na}$  der Nebengaggregate, die dem elektrischen Bordnetz sowie Karosserie und Innenraum 204 zugeordnet sind, und teilt sie dem Antrieb mit. Das Soll-Antriebsmoment  $md_{an\_soll}$  wird vom Fahrpedal ermittelt. Es ist Teil der Fahrzeugbewegung, in der zusätzlich die Anforderungen eines Fahrautomaten und weiterer Komponenten (nicht dargestellt) koordiniert werden. Die Komponente Fahrzeugbewegung 203 fordert das Soll-Antriebsmoment  $md_{an\_soll}$  vom Koordinator Fahrzeug 201 an. Der Antrieb 202 selbst gliedert sich in einen Koordinator Antrieb und die Objekte Motor, Kupplung und Getriebe, die von dem Koordinator angesteuert werden.

Die Steuerung des Schaltvorgangs wird innerhalb der Koordinierten Antriebsstrangsteuerung 202 durch das Objekt Schaltmanager 2021 vorgenommen wird. Das Objekt Schaltmanager 2021 ist ein Teilobjekt des Koordinators Antrieb 202 und koordiniert während einer Schaltung die Treiber 2022, 2023 und 2024 für den Motor 2025, die Kupplung 2026 und das Getriebe 2027. Die Einbindung des Schaltmanagers 2021 in die Antriebsstrangsteuerung 202 und Schnittstellen zwischen dem Schaltmanager 2021 und Motortreiber 2022, Kupplungstreiber 2023 und Getriebetreiber 2027 sind in der Fig. 3 dargestellt.

Während des Schaltvorgangs erfolgen durch den Schaltmanager 2021 Momenten- und Drehzahlvorgaben  $md_{ke\_soll}$  (Soll-Kupplungsmoment),  $md_{mv\_soll}$  (Soll-Momentenvorhalt des Motors) und  $n_{m\_soll}$  (Soll-Motordrehzahl) an den Motortreiber 2022. Dieser berücksichtigt diese Vorgaben und erteilt dem Motor bzw. dessen Steuergerät entsprechende

Aufträge. Es können dabei wahlweise Momenten- oder Drehzahlforderungen gestellt werden; die Unterscheidung erfolgt durch die logische Variable "Drehzahlforderung".

An den Kupplungstreiber 2023 erfolgt die Vorgabe eines Soll-Kupplungsausgangsmomentes  $md\_ka\_soll$ . Die Kupplung 2026 wird so angesteuert, daß sie in der Lage ist, dieses Moment übertragen zu können. Zur Identifizierung eines Schaltvorgangs wird dem Kupplungstreiber 2023 die Variable "Schaltvorgang" vom Schaltmanager 2021 übermittelt. 5

Für den Getriebetreiber 2024 kann der Schaltmanager 2021 während einer Schaltung eine Schaltverhinderung veranlassen, so daß bei laufendem Gangwechsel weitere Schaltungen verhindert werden. Der Schaltmanager 2021 verarbeitet Informationen von den Objekten Motor, Kupplung und Getriebe, die er von diesen direkt erfragt. Der Schaltmanager 2021 teilt dem Getriebetreiber 2024 den aktuellen statischen Getriebe-Sollgang  $g\_stat$  mit. 10

Durch die koordinierte Antriebsstrangsteuerung werden die Antriebsstrangkomponenten Motor, Kupplung und Getriebe während eines Schaltvorgangs geeignet angesteuert. Ziel der Steuerung ist eine möglichst kurze Dauer des Schaltvorgangs bei gleichzeitig hohem Komfort. Wesentlich wird der Komfort durch die Vermeidung von Rucken und Antriebsstrangschwingungen bestimmt. 15

#### Steuerung des Schaltablaufs

Wie schon erwähnt besteht der Kern der Erfindung in der koordinierten Ansteuerung von Motor, Kupplung und Getriebe während einer Schaltung und während des Normalbetriebs, basierend auf dem vom Fahrer gewünschten Antriebsmoment. Insbesondere wird angestrebt, daß vor und nach einer Schaltung das Antriebsmoment konstant ist ("momentenkonstantes Schalten"). 20

In der Fig. 4 ist zu sehen, daß sich bei einem Schaltvorgang die drei Phasen Momentenreduktion, Gangwechsel und Momentenaufbau unterscheiden lassen, die sequentiell ablaufen. Ein Schaltvorgang wird durch die Anforderung eines neuen Ganges an das Getriebe durch den Getriebetreiber ausgelöst. Akzeptiert das Getriebe den angeforderten Gang, so wird eine Momentenreduktion eingeleitet. Im Anschluß an die Momentenreduktion erfolgt ein Wechsel des Getriebeganges bei gleichzeitiger Anpassung der Motordrehzahl an die Synchrondrehzahl. Diese Anpassung kann vollständig oder nur teilweise erfolgen. Ist der geforderte Gang eingelegt, so erfolgt ein Momentenaufbau auf den vom Antrieb geforderten Wert für das Antriebsmoment. 25

Die Dauer der einzelnen Phasen beim Schaltvorgang für eine Hochschaltung ist in der Fig. 5 angedeutet. Hier ist schematisch der zeitliche Verlauf der Motordrehzahl und des Antriebsmoments dargestellt. Die Gesamtdauer  $T_{schalt}$  des Schaltvorgangs ergibt sich als Summe der Dauern der einzelnen Phasen  $T_{red}$  (Momentenreduktion),  $T_{gw}$  (Gangwechsel) und  $T_{auf}$  (Momentenaufbau). Während des Gangwechsels ist das Antriebsmoment gleich null. Diese Zugkraftunterbrechung ist bei automatisierten Schaltgetrieben prinzipbedingt. Eine Ausnahme hiervon bilden lediglich sogenannte Doppelkupplungsgetriebe. Der Schaltvorgang setzt sich aus 3 Phasen zusammen: 30

- Phase 1: Momentenreduktion. In dieser Phase wird die Kupplung geöffnet und das Motormoment reduziert. 35
- Phase 2: Gangwechsel/Drehzahlregelung. In dieser Phase wird der Gang gewechselt. Der Motor wird so angesteuert, daß sich seine Drehzahl der Zieldrehzahl des neuen Ganges anpaßt.
- Phase 3: Momentenaufbau. In dieser Phase wird die Kupplung geschlossen. Das Motormoment wird so gesteuert, daß es nach Ablauf der Schaltung dem Moment entspricht, das im Normalbetrieb zur Bereitstellung des vom Fahrer gewünschten Antriebsmomentes erforderlich ist. 40

#### Kommunikationsbeziehungen zur Steuerung des Schaltablaufes

Die Kommunikationsbeziehungen zwischen den Teilkomponenten der Antriebsstrangsteuerung, insbesondere während der einzelnen Phasen des Schaltablaufes, zeigen die Fig. 6a, b und c. Dargestellt sind die Phasen Momentenreduktion (Fig. 6a), Drehzahlregelung (Fig. 6b), Momentenaufbau und Normalbetrieb (Fig. 6c). Diese Phasen laufen wie schon erwähnt sequentiell ab, so daß in den Fig. 6a, 6b und 6c ein zeitlicher Ablauf wiedergegeben ist. 45

#### Momentenreduktion (Fig. 6a)

In der Fig. 6a (von oben beginnend) ist zu sehen, daß der Koordinator Antrieb 202 mit der Einstellung des Getriebeausgangsmomentes  $md\_ga\_soll$  beauftragt wird. Er teilt diese Größe dem Getriebetreiber 2024 mit, der den Soll-Gang  $g\_soll$  ermittelt. Der Getriebetreiber 2024 erhält vom Koordinator Antrieb den Auftrag, den Soll-Gang zu bestimmen. Die Einstellung dieses Ganges wird vom Getriebe 2027 gefordert. Der Schaltmanager 2021 wird ebenfalls vom Koordinator Antrieb beauftragt. Er erfragt vom Getriebe 2027 den Ist-Gang ( $Gib\_g$ ) und den Ziel-Gang ( $Gib\_g\_ziel$ ). Weichen diese voneinander ab, wird eine Schaltung eingeleitet ( $B\_svg=true$ ). Motortreiber 2022 und Kupplungstreiber 2023 erfragen vom Schaltmanager 2021, ob ein Schaltvorgang vorliegt ( $Ist\_svg$ ), und erfragen ( $Gib\_md\_ke\_soll$ ?,  $Gib\_md\_ka\_soll$ ?) weiterhin Vorgabewerte für das Soll-Kupplungseingangsmoment  $md\_ke\_soll$  und das Soll-Kupplungsausgangsmoment  $md\_ka\_soll$  und steuern die Komponenten Motor 2025 [ $Stelle(md\_ma\_soll)$ ] (Soll-Motorausgangsmoment) und Kupplung 2026 [ $Stelle(md\_ka\_soll)$ ] (Soll-Kupplungsausgangsmoment) entsprechend an. 50 55 60

#### Drehzahlregelung (Fig. 6b)

Hat das Getriebe 2027 den alten Gang ausgerückt (Abfrage  $Ist\_n\_ford$ ?), oder wenn die Kupplung 2026 im wesentlichen geöffnet ist (Abfrage  $Ist\_offen$ ?), so wird dies durch die binären Informationen  $n\_ford$  oder  $Ist\_offen$  mitgeteilt, die dadurch wahr wird. Die Getriebesteuerung 2027 errechnet die Synchrondrehzahl des neuen Ganges als Soll-Getriebeeingangsdrehzahl  $n\_ge\_soll$  (Abfrage  $Gib\_n\_ge\_soll$ ?). Die Motorsteuerung bzw. -treiber wird dann beauftragt, diese Dreh- 65

# DE 199 37 455 A 1

zahl einzustellen [Anfrage Gib\_n\_m\_soll? und Stellsignal Stelle (n\_m\_soll!)]. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung der Drehzahlregelung, die eingangs erwähnte prädiktive Drehzahlregelung, wird am Ende der Beschreibung genauer beschrieben.

## Momentenaufbau (Fig. 6c)

Hat das Getriebe 2027 den neuen Gang eingelegt (Abfrage Ist\_n\_ford?), so wird die binäre Information n\_ford falsch. Der Motortreiber 2022 ermittelt aufgrund der Informationen über das gewünschte Getriebeausgangsmoment md\_ga\_soll (vom Koordinator Antrieb) und das gewünschte Kupplungseingangsmoment md\_ke\_soll das Soll-Motorausgangsmoment md\_ma\_soll [(Stelle(md\_ma\_soll))!]. Der Kupplungstreiber 2023 stellt an der Kupplung 2026 das gewünschte Kupplungsausgangsmoment md\_ka\_soll [(Stelle(md\_ka\_soll))!] ein.

## Normalbetrieb (Fig. 6c)

Von der Phase Momentenaufbau wird in den Normalbetrieb übergegangen, wenn das Zielmoment erreicht ist. Das Attribut B\_svg wird dann auf falsch gesetzt und die Schaltung ist damit abgeschlossen.

## Algorithmus zur Momentenreduktion

Der Algorithmus zur Momentenreduktion ist im wesentlichen im Schaltmanager 2021 realisiert. Die Momentenreduktion erfolgt ausgehend von einem Moment md\_ra\_red\_start, das dem Soll-Motorausgangsmoment beim Start der Schaltung entspricht. Der prinzipielle Verlauf des Soll-Motorausgangsmomentes md\_ma\_soll und des Soll-Kupplungsmomentes md\_kup\_soll ist in der Fig. 7 dargestellt. Zunächst wird der Fall des Zugbetriebs beschrieben, bei dem die Größe md\_ra\_red\_start > 0 Nm (Newton-Meter) ist. Ausgehend vom Moment md\_ra\_red\_start wird das Soll-Motorausgangsmoment md\_ma\_soll auf einen Wert md\_red\_min verringert, der applizierbar ist oder geeignet errechnet wird. Das Soll-Kupplungsmoment md\_kup\_soll wird auf 0 Nm verringert. Vorteilhaft ist es, die Momentenreduktion rampenförmig vorzunehmen, wobei die Dauer der Reduktion bis auf 0 Nm durch eine Zeit t\_ra\_red vorgegeben wird. Weiterhin ist es vorteilhaft, diese Zeit bei Beginn der Schaltung zu berechnen. In einer möglichen Ausgestaltung geschieht diese Bestimmung in Abhängigkeit von der Schalt-Art, die durch eine zugehörige Schalt-ID repräsentiert wird. Eine beispielhafte Kodierung zeigt Tabelle:

Schalt-Art	1-2	2-3	3-4	4-5	5-4	4-3	3-2	2-1
Schalt-ID	1	2	3	4	5	6	7	8

Die Dauer t\_ra\_red kann damit als Ausgangswert einer Kennlinie ermittelt werden, deren Eingangswert die Schalt-ID ist. Sie wird von der Getriebesteuerung geliefert.

Die Berechnung der Soll-Momente erfolgt ausgehend vom Startwert md\_ra\_red\_start durch Dekrementieren entsprechend der Soll-Steigung md\_dot\_red. Diese Größe wird berechnet zu

$$md\_dot\_red := \frac{d(md)}{dt} = \frac{md\_ra\_red\_start}{t\_ra\_red}$$

Der Motortreiber 2022 steuert entsprechend den Motor mit dem Soll-Motorausgangsmoment md\_ma\_soll an. Entsprechend wird das Soll-Kupplungsmoment

$$md\_ka\_soll = md\_kup\_soll$$

bestimmt. Diese Größe wird an den Kupplungstreiber 2023 weitergeleitet, der die Kupplung 2026 entsprechend ansteuert.

Der Ablauf der Momentenreduktion im Schubbetrieb ist in Fig. 8 dargestellt. Hier ist zu bemerken, daß das Soll-Kupplungsmoment immer positiv ist und bei negativem Soll-Motorausgangsmoment dessen Betrag entspricht. Die Reduktion von Motor- und Kupplungsmoment ist also eine Reduktion der Beträge der Momente. Das Soll-Motorausgangsmoment wird ausgehend vom Startwert md\_ra\_red\_start auf einen Wert md\_red\_max gebracht, der applizierbar ist oder geeignet berechnet wird. Die Dauer und die Steigung der Momentenrampe wird analog zum Zugbetrieb berechnet.

Es ist vorteilhaft, die Dauern t\_ra\_red durch entsprechende Applikation von der Situation Schub-/Zugbetrieb abhängig zu machen.

Die Phase Momentenreduktion ist abgeschlossen, wenn das Getriebe den Gang ausgerückt hat oder die Kupplung geöffnet ist.

Während der Momentenreduktion werden also die Komponenten des Antriebsstrangs so angesteuert, daß Motor- und Getriebeeingangsdrehzahl weiterhin übereinstimmen. Die Steuerung muß hier insbesondere eine Erhöhung der Motordrehzahl während des Öffnens der Kupplung vermeiden, da diese den Schaltvorgang verlängert und das mit einer Drehzahlanhebung verbundene Motorgeräusch vom Fahrer als unangenehm empfunden wird.

## Algorithmus zur Drehzahlregelung

Während des Gangwechsels wird die Motorsteuerung beauftragt, die Synchrongeschwindigkeit des neuen Ganges einzustellen.



len. Hierzu wird während des Gangwechsels bei der Hochschaltung vom Motor das maximal mögliche Schleppmoment eingestellt, um die Motordrehzahl der Synchrondrehzahl des neuen Ganges anzugleichen. Gleichzeitig bleibt die Kupplung geöffnet, bis der neue Gang eingelegt ist. Damit sind in dieser Phase das Kupplungsausgangsmoment und das Antriebsmoment gleich null. Daraus resultiert eine Verringerung der Fahrzeuggeschwindigkeit während des Schaltvorgangs.

Bei Rückschaltungen kann vom Schaltmanager 2021 eine aktive Anpassung der Motordrehzahl an die Synchrondrehzahl des neuen Ganges realisiert werden. Durch eine unterlagerte Motordrehzahlregelung, die im Objekt Motor realisiert ist, wird die Motordrehzahl auf den vom Schaltmanager geforderten Wert geregelt. Bei nahezu übereinstimmender Motor- und Getriebeeingangsdrehzahl kann die Kupplung ohne Komforteinbußen schnell geschlossen werden, was zu einer Verkürzung der Schaltvorgangsdauer beiträgt.

#### Algorithmus zum Momentenaufbau

Wie die Berechnungsvorschrift zur Momentenreduktion ist auch der Algorithmus zum Momentenaufbau im wesentlichen im Schaltmanager realisiert. Der Momentenaufbau erfolgt ausgehend von einem Moment  $md\_ra\_auf\_start$ , das ein applizierbarer Parameter ist oder geeignet berechnet werden kann. Der prinzipielle Verlauf eines Referenzmoments  $md\_ra\_auf$  ist in Fig. 9 dargestellt. Die Berechnung des Soll-Motorausgangsmoment  $md\_ma\_soll$  und des Soll-Kupplungsmoments  $md\_ka\_soll$  erfolgt basierend auf dem Referenzmoment  $md\_ra\_auf$ .

Ausgehend vom Moment  $md\_ra\_auf\_start$  wird das Referenzmoment auf den Wert des Zielmomentes  $md\_targ$  erhöht. Das Zielmoment wird laufend entsprechend der Vorschrift

$$md\_targ = \frac{md\_ga\_soll}{mue(g\_ziel)}$$

berechnet. Dabei ist  $mue(g\_ziel)$  die Momentenverstärkung des Getriebes für den Zielgang. Vorteilhaft ist es, den Momentenaufbau rampenförmig vorzunehmen, wobei die Dauer durch eine Zeit  $t\_ra\_auf$  vorgegeben wird. Weiterhin ist es vorteilhaft, diese Zeit bei Beginn der Phase Momentenaufbau zu berechnen. In einer möglichen Ausgestaltung geschieht diese Bestimmung in Abhängigkeit von der Schalt-Art. Die Dauer  $t\_ra\_red$  kann damit als Ausgangswert einer Kennlinie ermittelt werden, deren Eingangswert die Schalt-ID ist. Sie wird von der Getriebesteuerung geliefert.

Die Berechnung des Referenzmomentes  $md\_ra\_auf$  erfolgt ausgehend vom Startwert  $md\_ra\_auf\_start$  durch Inkrementieren entsprechend der Soll-Steigung  $md\_dot\_auf$ . Diese Größe wird berechnet zu

$$md\_dot\_auf := \frac{d(md)}{dt} = \frac{md\_targ - md\_ra\_auf\_start}{t\_ra\_auf}$$

Das Soll-Motorausgangsmoment wird ausgehend vom Referenzmoment  $md\_ra\_auf$  berechnet.

Der entsprechende Algorithmus ist in der Fig. 10 dargestellt. Zunächst wird die Ziel-Drehzahl  $n\_targ$  als Produkt der Übersetzung des Ziel-Ganges  $g\_ziel$  und der Getriebeausgangsdrehzahl  $n\_ga$  bestimmt.

Die Differenz zwischen  $n\_targ$  und der Motordrehzahl beim Beginn der Phase Momentenaufbau,  $n\_init$ , wird durch die Dauer  $t\_ra\_auf$  dividiert und mit einem konstanten Faktor multipliziert. Diese Größe wird mit einer skalaren Größe multipliziert. Das Ergebnis ist der Soll-Gradient der Motordrehzahl  $om\_dot\_soll$ . Die skalare Größe wird aus einer Kennlinie  $KL\_n\_shape$  ausgelesen. Die Eingangsgröße dieser Formkennlinie für den Motordrehzahlverlauf ist das Drehzahlverhältnis zwischen Motordrehzahl und Zieldrehzahl

$$gamma\_n = \frac{n\_m}{n\_targ}$$

Die Größe  $om\_dot\_soll$  wird mit einer konstanten Größe  $theta\_m$  multipliziert und das Ergebnis zum Referenzmoment  $md\_ra\_auf$  addiert. Das Ergebnis ist das Soll-Motorausgangsmoment  $md\_ma\_soll$ . Der Motor wird beauftragt, dieses Moment bereitzustellen.

Das Soll-Kupplungsmoment  $md\_ka\_soll$  ist grundsätzlich identisch mit der Größe  $md\_ra\_auf$ , jedoch kann ein Moment  $P\_md\_ke\_targ\_min$  angegeben werden, das als Soll-Vorgabe für die Kupplung am Ende des Momentenaufbaus mindestens erreicht werden soll.

Es ist vorteilhaft, die Dauern  $t\_ra\_auf$  durch entsprechende Applikation von der Situation Schub-/Zugbetrieb abhängig zu machen.

Das Ende der Phase Momentenaufbau wird erkannt, wenn der Betrag der Differenz zwischen dem Referenzmoment  $md\_ra\_auf$  und dem Zielmoment  $md\_targ$  eine Schwelle unterschreitet. Diese Schwelle wird vorteilhafterweise bei Beginn der Phase Momentenaufbau in Abhängigkeit von der Größe  $md\_dot\_auf$  und der Zyklusdauer der Task, in der die Berechnung erfolgt, berechnet.

Während des Momentenaufbaus wird also durch die schließende Kupplung die Motordrehzahl auf die Synchrondrehzahl des neuen Ganges gebracht. Gleichzeitig erfolgt ein Momentenaufbau, so daß nach Ende des Schaltvorgangs das vom Fahrer gewünschte Antriebsmoment erreicht wird. Um einen vorgegebenen Verlauf des Soll-Antriebsmoments bei gleichzeitiger Drehzahlangleichung zu erreichen werden Motor und Kupplung koordiniert angesteuert. Dabei wird insbesondere berücksichtigt, daß beim Übergang der Kupplung vom Rutschen in ein Haften der Kupplungsscheiben die Differenz der Drehzahlgradienten von Kupplungseingangs- und Ausgangsseite klein sind, so daß Antriebsstrangschwingungen vermieden werden.

Durch den Schaltmanager 2021 werden auch Doppel- und Mehrfachschaltungen behandelt, die z. B. bei Notbremsungen und Überholmanövern erforderlich sind. Wird eine Situation erkannt, in der eine Doppelschaltung erlaubt ist und ist

der vom statischen Fahrprogramm bestimmte Soll-Gang kleiner als der vom Getriebe nach dem Gangwechsel eingelegte Gang, so wird bei offener Kupplung vom Getriebe der nächste Gang angefordert. Erst wenn dieser eingelegt wurde, erfolgt ein Momentenaufbau und somit der Abschluß des Schaltvorgangs.

- Zusammenfassend ist zu bemerken, daß der Kern der Erfindung in der koordinierten Ansteuerung von Motor, Kupplung und Getriebe bei Fahrzeugen mit automatisiertem Schaltgetriebe und elektronischer Motorleistungs- bzw. -momentensteuerung zur Steuerung des Schaltablaufes besteht. Ein wesentlicher Bestandteil des Verfahrens ist die Basierung auf dem vom Fahrer gewünschten Antriebsmoment. Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

- Das Antriebsmoment ist vor und nach der Schaltung identisch, sofern der Motor innerhalb seines Leistungsvermögens betrieben wird.
- Vom Motor kann während der Schaltung stets das geeignete Moment gefordert werden. Dies ist bei Systemen, bei denen die Ermittlung des Fahrerwunschemomentes durch die Motorsteuerung erfolgt nur bedingt möglich.
- Das Wiedereinkuppeln (Phase Momentenaufbau) kann so gesteuert werden, daß am Ende der Schaltung das Soll-Motorausgangsmoment derart gefordert wird, daß das vom Fahrer gewünschte Antriebsmoment realisiert wird. Die Berücksichtigung des Fahrerwunschemomentes auch während des Schaltablaufes ermöglicht eine optimale Vorgabe vom Motor- und Kupplungsmoment.

Damit ist es möglich, die Schaltung zeitoptimiert und komfortabel vorzunehmen. Dies erhöht sowohl die Fahrsicherheit als auch den Fahrkomfort.

#### Prädiktive Drehzahlregelung

Wie schon eingangs erwähnt wird bei der prädiktiven Drehzahlregelung die Motordrehzahl durch Vorgabe eines indizierten Momentes erreicht. Dabei ist ein gewünschter Drehzahlverlauf gegeben, so daß neben der Solldrehzahl zu einem aktuellen Zeitpunkt auch Solldrehzahlen zu zeitlich in der Zukunft liegenden Zeitpunkten bekannt sind. Die gewünschte Drehzahl soll auch bei veränderlichem Lastmoment exakt eingestellt werden. Diese Situation tritt insbesondere während Schaltvorgängen auf, die durch eine koordinierte Motor-/Getriebesteuerung gesteuert werden.

Das Verfahren zur prädiktiven Drehzahlregelung von Verbrennungskraftmaschinen erlaubt die präzise Realisierung von Drehzahlverläufen bei variablem Lastmoment. Das zum Erreichen eines vorgegebenen Drehzahlverlaufs erforderliche indizierte Moment wird zu diskreten Zeitpunkten errechnet. Kern des auf einem Systemmodell des Motors und der Last basierenden Verfahrens ist die Berücksichtigung zukünftiger (prädictierter) Solldrehzahlen und Lastmomente zum Zeitpunkt der Berechnung des indizierten Moments. Das Verfahren wird durch einen übergeordneten Koordinator, der den Gangwechsel auslöst, aktiviert. Mit Herstellung des Kraftschlusses im Antriebsstrang im Zielgang wird der Algorithmus beendet.

Bei bekannten System ist bei Schaltvorgängen eine Momentenreduktion des Motors durch einen Zündwinkeleingriff durch die Getriebesteuerung oder die Kupplungssteuerung vorgesehen.

In zukünftigen Systemen zur Motorsteuerung, die mit einem elektronischen Drosselklappensteller ausgerüstet sind, erfolgt die Beeinflussung der Motorleistung durch eine Momentenvorgabe. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, auch aktiv Momentenerhöhungen vornehmen zu können. Diese Möglichkeit erlaubt insbesondere, die Schaltzeit bei automatisierten Schaltgetrieben (ASG) zu reduzieren. Dadurch läßt sich die Dauer der Zugkraftunterbrechung verringern und somit Fahrleistung und Komfort erhöhen.

Gegenüber Verfahren zur Momentensteuerung bietet das Verfahren zur prädiktiven Drehzahlregelung den Vorteil größerer Robustheit gegen Störeinflüsse, da die aktuelle Motordrehzahl ständig mit dem Soll-Drehzahlverlauf in Einklang gebracht wird. Mit dem Verfahren kann ein gewünschter Drehzahlverlauf schneller eingestellt werden als mit proportionalen oder proportional-integralen Reglern, da es nicht auf der Existenz einer Regelabweichung beruht.

Das Verfahren zur prädiktiven Drehzahlregelung startet zum Zeitpunkt  $t_k$  und endet zum Zeitpunkt  $t_e$ . Während des Zeitintervalls  $[t_k, t_e]$  werden zu diskreten Zeitpunkten  $t_k$  Informationen über den Verlauf der Soll-Motordrehzahl  $n^{soll}$  und des Soll-Kupplungsmomentes  $M_k^{soll}$  aus den Kennlinien  $KL\_n\_soll$  (Fig. 11) und  $KL\_Mk\_soll$  (Fig. 12) ausgelesen.

Das Moment  $M_k^{soll}$  ist das von der Schwungscheibe einer Reibkupplung übertragene Moment, wobei diese mit der Kurbelwelle des Motors starr verbunden ist.

Aus den Kennlinien werden neben den Sollwerten für den aktuellen Zeitpunkt  $t_k$  auch  $n$  weitere, in der Zukunft liegende Sollwerte ermittelt. Für den Sollverlauf der Motordrehzahl ergeben sich die Werte

$$\begin{array}{ll}
 n^{soll}(t_k) & n_k^{soll} \\
 n^{soll}(t_k + \Delta t_1) & n_{k+1}^{soll} \\
 n^{soll}(t_k + \Delta t_2) & n_{k+2}^{soll} \\
 \vdots & \vdots \\
 n^{soll}(t_k + \Delta t_n) & n_{k+n}^{soll}
 \end{array}$$

Die Zeitintervalle  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$  werden durch einen Rechenblock zur Zeitintervallvorgabe zur Verfügung gestellt.

Dabei definiert das Intervall  $\Delta t_n$  den berücksichtigten Zeithorizont. Das Auslesen der Kennlinie  $KL\_n\_soll$  ist in der Fig. 11 dargestellt.

Für den Sollverlauf des Kupplungsmoments ergeben sich analog

$$\begin{array}{ll} M_K^{soll}(t_k) & M_{K,k}^{soll} \\ M_K^{soll}(t_k + \Delta t_1) & M_{K,k+1}^{soll} \\ M_K^{soll}(t_k + \Delta t_2) & M_{K,k+2}^{soll} \\ & \\ M_K^{soll}(t_k + \Delta t_n) & M_{K,k+n}^{soll} \end{array} \quad \begin{array}{l} 5 \\ \\ 10 \\ \\ 15 \end{array}$$

Das Auslesen der Kennlinie  $KL\_Mk\_soll$  ist in der Fig. 12 dargestellt.

#### Berechnung des erforderlichen indizierten Moments

Die Berechnung des zur Einstellung des gegebenen Drehzahlverlaufs erforderlichen indizierten Motormoments  $M_I$  erfolgt mittels eines Systemmodells des Motors und der Last. In dem Modell ist  $\Theta_{eff}$  das effektive Massenträgheitsmoment, das sich aus dem Trägheitsmoment des Motors und der Last additiv zusammensetzt.

Die Größe  $M_V(t)$  beschreibt das mechanische Motor-Verlustmoment,  $M_K(t)$  das Kupplungsmoment. Die Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle ist durch  $\omega = 2\pi n$  gegeben.

Eine Betrachtung vom Zeitpunkt  $t_k$  bis zum Zeitpunkt  $t_{k+1} = t_k + \Delta t_1$  ergibt:

$$\int_{\omega_k}^{\omega_{k+1}} d\omega = \frac{1}{\Theta_{eff}} \int_{t_k}^{t_{k+1}} (M_I(t) - M_V(t) - M_K(t)) dt \quad (1) \quad 30$$

Im Intervall  $[t_k, t_k + \Delta t_1]$  wird das Verlustmoment  $M_V$  als konstant angenommen, ebenso das zu bestimmende indizierte Motormoment  $M_I$ . Damit ergibt sich:

$$\omega_{k+1} - \omega_k = \frac{1}{\Theta_{eff}} \left[ (t_{k+1} - t_k) M_I - (t_{k+1} - t_k) M_V - \int_{t_k}^{t_{k+1}} M_K(t) dt \right] \quad (2) \quad 40$$

$$M_I = \Theta_{eff} \frac{\omega_{k+1} - \omega_k}{t_{k+1} - t_k} + M_V + \frac{1}{t_{k+1} - t_k} \int_{t_k}^{t_{k+1}} M_K(t) dt \quad (3) \quad 45$$

#### Rechenvorschrift zur prädiktiven Regelung

Das indizierte Moment  $M_I$  ist Stellgröße für die prädiktive Drehzahlregelung. Zum Zeitpunkt  $t_k$  wird das Soll-Moment  $M_I$  bestimmt, das erforderlich ist, um zum Zeitpunkt  $t_{k+1}$  die Drehzahl  $n_{k+1}$  zu erreichen, ausgehend von der aktuellen Drehzahl  $n_k$ . Die Drehzahl  $n_{k+1}$  wird durch ein Interpolationsverfahren aus der aktuellen Drehzahl  $n_k$  und den Sollwerten aus der Kennlinie  $KL\_n\_soll$  bestimmt. Dabei wird eine Vorausschau von  $n$  Zeitintervallen bis zum Zeithorizont  $t_k + \Delta t_n$  vorgenommen. Der Verlauf des Kupplungsmoments  $M_K(t)$  wird ausgehend vom aktuellen Kupplungsmoment  $M_{K,k}$  in analoger Weise durch ein Interpolationsverfahren mit Hilfe der Kennlinie  $KL\_Mk\_soll$  prädiziert.

Mit einer 1-Schritt-Vorausschau für den Drehzahlverlauf ist  $n_{k+1}$  ist mit  $n_{k+1}^{soll}$  identisch, wie in der Fig. 13 grafisch veranschaulicht.

Für das Kupplungsmoment  $M_K(t)$  ergibt sich bei einer 1-Schritt-Vorausschau

$$M_K(t) = M_{K,k} + (t - t_k) \frac{M_{K,k+1} - M_{K,k}}{t_{k+1} - t_k} \quad (4) \quad 60$$

wobei  $M_{K,k+1}$  mit  $M_{K,k+1}^{soll}$  identisch ist. Durch Einsetzen von (4) in (3) entsteht mit  $\omega_k = 2\pi n_k$  und  $\omega_{k+1} = 2\pi n_{k+1}$  die Rechenvorschrift:

$$M_I = 2\pi \Theta_{eff} \frac{n_{k+1} - n_k}{t_{k+1} - t_k} + M_V + \frac{1}{2} (M_{K,k} + M_{K,k+1}) \quad (5) \quad 65$$

Zur Berechnung von  $M_f$  gemäß (5) ist das aktuelle Kupplungsmoment  $M_{K,k}$  geeignet zu bestimmen. Dieses kann beispielsweise meßtechnisch durch einen Drehmomentsensor erfaßt werden. Eine Ersatzwertbildung ist in bekannter Weise durch die Lastfassung der Motorsteuerung oder durch die Kupplungssteuerung möglich. Eine weitere Möglichkeit ergibt sich durch einen Brennraumdrucksensor in Verbindung mit einem Beobachter (i. S. der Regelungstechnik).

5 Durch eine weitergehende n-schrittige zeitliche Vorausschau kann bei der Ermittlung der Stellgröße zum Zeitpunkt  $t_k$  der Verlauf der Soll-Drehzahl und des Soll-Kupplungsmoments bis zum Zeithorizont  $t_k + \Delta t_n$  berücksichtigt werden.

Der Drehzahlverlauf  $n(t)$  wird durch ein Polynom höchstens n-ten Grades geeignet approximiert, das sich an den durch die Punkte der Kennlinie  $KL\_n\_soll$  gegebenen Soll-Drehzahlverlauf anschmiegt. Das Polynom ist so zu bestimmen, daß die aktuelle Drehzahl  $n_k$  auf dem Polynom liegt. Die Drehzahl  $n_{k+1}$  ergibt sich als Funktionswert des Polynoms zum

10 Zeitpunkt  $t_{k+1}$ . Ein mögliches Polynom für eine 2-Schritt-Vorausschau ist in der Fig. 14 skizziert.

Für das Kupplungsmoment  $M_K(t)$  erfolgt die Bestimmung eines Polynoms in analoger Weise. Der Ausdruck für  $M_K(t)$  wird zur Berechnung von  $M_f$  in die Bestimmungsgleichung (3) eingesetzt.

Die Berechnung der Zeitintervalle  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$  erfolgt in einem Rechenblock zur Zeitintervallvorgabe. Die Zeitintervalle können in Abhängigkeit von der Regelgüte vorangegangener Regelvorgänge und dem Betriebspunkt des Motors adaptiert werden.

15 Ebenso kann eine laufende Adaption der Kennlinien  $KL\_n\_soll$  und  $KL\_M_k\_soll$ , insbesondere in Abhängigkeit vom Fahrerwunsch, erfolgen.

Die oben beschriebene Struktur des Verfahrens der prädiktiven Drehzahlregelung ist in der Fig. 15 zusammenfassend skizziert.

20

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur koordinierten Steuerung der im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs angeordneten Elemente Servokupplung (2026), Fahrzeugmotor (2025) und Getriebe (2027) während einer Änderung der Getriebeübersetzung, wobei Koordinationsmittel (2021) vorgesehen sind und jedem der Elemente (2025, 2026, 2027) eine Treiberstufe (2022, 2023, 2024) zugeordnet ist, die mit den Koordinationsmitteln (2021) verbunden ist, und die Koordinationsmittel (2021) während der Änderung der Getriebeübersetzung

– der dem Fahrzeugmotor zugeordneten Motortreiberstufe (2022) wahlweise  
– Sollwerte ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments einerseits oder  
– Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl andererseits, und

– der der Kupplung zugeordneten Kupplungstreiberstufe (2023) Sollwerte ( $md\_ka\_soll$ ) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments und

35 – der dem Getriebe zugeordneten Getriebetreiberstufe (2024) Sollwerte ( $g\_stat$ ) zur Einstellung einer Getriebeübersetzung vorgeben.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß den Koordinationsmitteln (2021) erste Informationen über den Betriebszustand der Servokupplung (2026) und/oder zweite Informationen über den Betriebszustand des Getriebes (2027) und/oder dritte Informationen über den Betriebszustand des Verbrennungsmotors zugeleitet werden und

– die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) abhängig von den ersten, zweiten und/oder dritten Informationen  
– entweder Sollwerte ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments oder  
– Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl

vorgeben und/oder

50 – die Koordinationsmittel (2021) der Kupplungstreiberstufe (2023) abhängig von den ersten, zweiten und/oder dritten Informationen Sollwerte zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vorgeben.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

– die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) dann Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben, wenn die Servokupplung (2026) im wesentlichen geöffnet ist und/oder

55 – die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebebegangs und Einrücken eines Zielgetriebebegangs stattfindet und die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) dann Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben, wenn der Startgetriebebegang im Getriebe (2027) ausgerückt ist.

60 4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebebegangs und Einrücken eines Zielgetriebebegangs stattfindet und

– die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) dann Sollwerte ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments vorgeben, wenn der Zielgetriebebegang eingerückt ist und/oder

65 – die Koordinationsmittel (2021) der Kupplungstreiberstufe (2023) dann Sollwerte ( $md\_ka\_soll$ ) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments vorgeben, wenn der Zielgetriebebegang eingerückt ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Koordinationsmittel (2021) derart ausgestaltet sind, daß in Reaktion auf eine beabsichtigte Änderung der Getriebeübersetzung.

- der Motortreiberstufe (2022) die Sollwerte ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments derart vorgegeben werden, daß das Motorausgangsmoment auf einen vorgegebenen oder vorgebbaren Wert ( $md\_red\_min$ ) reduziert wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß die Reduzierung mittels eines vorgebbaren Verlaufs, insbesondere innerhalb einer vorgebbaren Zeitdauer ( $t\_ra\_red$ ), geschieht und der Verlauf oder die Zeitdauer abhängig von der Änderung der beabsichtigten Getriebeübersetzung vorgegeben ist, und
  - der Kupplungstreiberstufe (2023) die Sollwerte ( $md\_ka\_soll$ ) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments abhängig von den Sollwerten ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments vorgegeben werden,
- wobei insbesondere vorgesehen ist, daß der vorgebbare Verlauf der Reduzierung abhängig ist
- von dem Start- und Zielgetriebeang, 10
  - von der Leistungs- beziehungsweise Momentenanforderung des Fahrers,
  - von der Fahrzeuggeschwindigkeit,
  - vom Fahrertyp,
  - von der Fahrsituation und/oder 15
  - vom Betriebszustand der Aggregate, beispielsweise abhängig von der Motor- und/oder Kupplungstemperatur.
6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebeangs und Einrücken eines Zielgetriebeangs stattfindet und die Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß die Ausgangsdrehzahl ( $n\_m$ ) des Motors (2025) auf die Synchrongeschwindigkeit des Zielgetriebeangs geregelt wird, wozu insbesondere bei Hochschaltvorgängen vorgesehen ist, daß durch den Motortreiber (2022) das maximal mögliche Motorschleppmoment eingestellt wird. 20
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebeangs und Einrücken eines Zielgetriebeangs stattfindet und die Koordinationsmittel (2021) der Kupplungstreiberstufe (2023) die Sollwerte ( $md\_ka\_soll$ ) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments derart vorgeben, daß das maximal übertragbare Kupplungsmoment auf einen vorgegebenen oder vorgebbaren Wert ( $md\_targ$ ) erhöht wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß ein erster Verlauf der Sollwerte ( $KL\_MK\_soll$ ) vorgegeben wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß der vorgebbare erste Verlauf der Reduzierung abhängig ist 30
- von dem Start- und Zielgetriebeang,
  - von der Leistungs- beziehungsweise Momentenanforderung des Fahrers,
  - von der Fahrzeuggeschwindigkeit,
  - vom Fahrertyp,
  - von der Fahrsituation und/oder 35
  - vom Betriebszustand der Aggregate, beispielsweise abhängig von der Motor- und/oder Kupplungstemperatur.
8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ,  $n^{soll}$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß ein zweiter Verlauf ( $KL\_n\_soll$ ) der Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ,  $n^{soll}$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgegeben wird. 40
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 und/oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ,  $n^{soll}$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl durch die Einstellung eines indizierten Motormoments ( $M_f$ ) geschieht, wobei das aktuell einzustellende indizierte Motormoment
- abhängig von wenigstens einem im ersten Sollverlauf ( $KL\_n\_soll$ ) in der Zukunft liegenden Sollwert für die Ausgangsdrehzahl des Motors und/oder 45
  - abhängig von dem vorgegebenen ersten Verlauf der Sollwerte ( $KL\_MK\_soll$ ) und/oder
  - abhängig vom Betriebszustand des Motors, der Kupplung und/oder des Getriebes
- ermittelt wird.
10. Vorrichtung nach Anspruch 7 und/oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Einstellung der Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ,  $n^{soll}$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl durch Vorgabe der Sollwerte ( $md\_ka\_soll$ ) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments geschieht, wobei das aktuell einzustellende übertragbare Kupplungsmoment
- abhängig von wenigstens einem im ersten Sollverlauf ( $KL\_n\_soll$ ) in der Zukunft liegenden Sollwert für die Ausgangsdrehzahl des Motors und/oder 50
  - abhängig von dem vorgegebenen ersten Verlauf der Sollwerte ( $KL\_MK\_soll$ ) und/oder 55
  - abhängig vom Betriebszustand des Motors, der Kupplung und/oder des Getriebes
- ermittelt wird.
11. Verfahren zur koordinierten Steuerung der im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeugs angeordneten Elemente Servokupplung (2026), Fahrzeugmotor (2025) und Getriebe (2027) während einer Änderung der Getriebeübersetzung, wobei Koordinationsmittel (2021) vorgesehen sind und jedem der Elemente (2025, 2026, 2027) eine Treiberstufe (2022, 2023, 2024) zugeordnet ist, die mit den Koordinationsmitteln (2021) verbunden ist, und die Koordinationsmittel (2021) während der Änderung der Getriebeübersetzung
- der dem Fahrzeugmotor zugeordneten Motortreiberstufe (2022) wahlweise
    - Sollwerte ( $md\_ke\_soll$ ) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments einerseits oder 60
    - Sollwerte ( $n\_m\_soll$ ) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl andererseits, und 65

- der der Kupplung zugeordneten Kupplungstreiberstufe (2023) Sollwerte (md\_ka\_soll) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments und
- der dem Getriebe zugeordneten Getriebetreiberstufe (2024) Sollwerte (g\_stat) zur Einstellung einer Getriebeübersetzung

vorgeben.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß den Koordinationsmitteln (2021) erste Informationen über den Betriebszustand der Servokupplung (2026) und/oder zweite Informationen über den Betriebszustand des Getriebes (2027) zugeleitet werden und die Koordinationsmitteln (2021) der Motortreiberstufe (2022) abhängig von den ersten und/oder zweiten Informationen

- entweder Sollwerte (md\_ke\_soll) zur Einstellung eines Motorausgangsmoments oder eines Kupplungseingangsmoments oder
- Sollwerte (n\_m\_soll) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) dann Sollwerte (n\_m\_soll) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben, wenn die Servokupplung (2026) im wesentlichen geöffnet ist und/oder
- die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebebegangs und Einrücken eines Zielgetriebebegangs stattfindet und die Koordinationsmittel (2021) der Motortreiberstufe (2022) dann Sollwerte (n\_m\_soll) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgeben, wenn der Startgetriebebegang im Getriebe (2027) ausgerückt ist.

14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollwerte (n\_m\_soll, n<sup>soll</sup>) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß ein Sollverlauf (KL\_n\_soll) der Sollwerte (n\_m\_soll, n<sup>soll</sup>) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgegeben wird.

15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Änderung der Getriebeübersetzung durch Ausrücken eines Startgetriebebegangs und Einrücken eines Zielgetriebebegangs stattfindet und die Koordinationsmittel (2021) der Kupplungstreiberstufe (2023) die Sollwerte (md\_ka\_soll) zur Einstellung eines maximal übertragbaren Kupplungsmoments derart vorgeben, daß das maximal übertragbare Kupplungsmoment auf einen vorgegebenen oder vorgebbaren Wert (md\_targ) erhöht wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß ein erster Verlauf der Sollwerte (KL\_MK\_soll) vorgegeben wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß der vorgebbare erste Verlauf der Reduzierung abhängig ist

- von dem Start- und Zielgetriebebegang,
- von der Leistungs- beziehungsweise Momentenanforderung des Fahrers,
- von der Fahrzeuggeschwindigkeit,
- vom Fahrertyp,
- von der Fahrsituation und/oder
- vom Betriebszustand der Aggregate, beispielsweise abhängig von der Motor- und/oder Kupplungstemperatur.

16. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Sollwerte (n\_m\_soll, n<sup>soll</sup>) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl derart vorgegeben werden, daß ein zweiter Verlauf (KL\_n\_soll) der Sollwerte (n\_m\_soll, n<sup>soll</sup>) zur Einstellung einer Motorausgangsdrehzahl oder einer Getriebeeingangsdrehzahl vorgegeben wird.

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

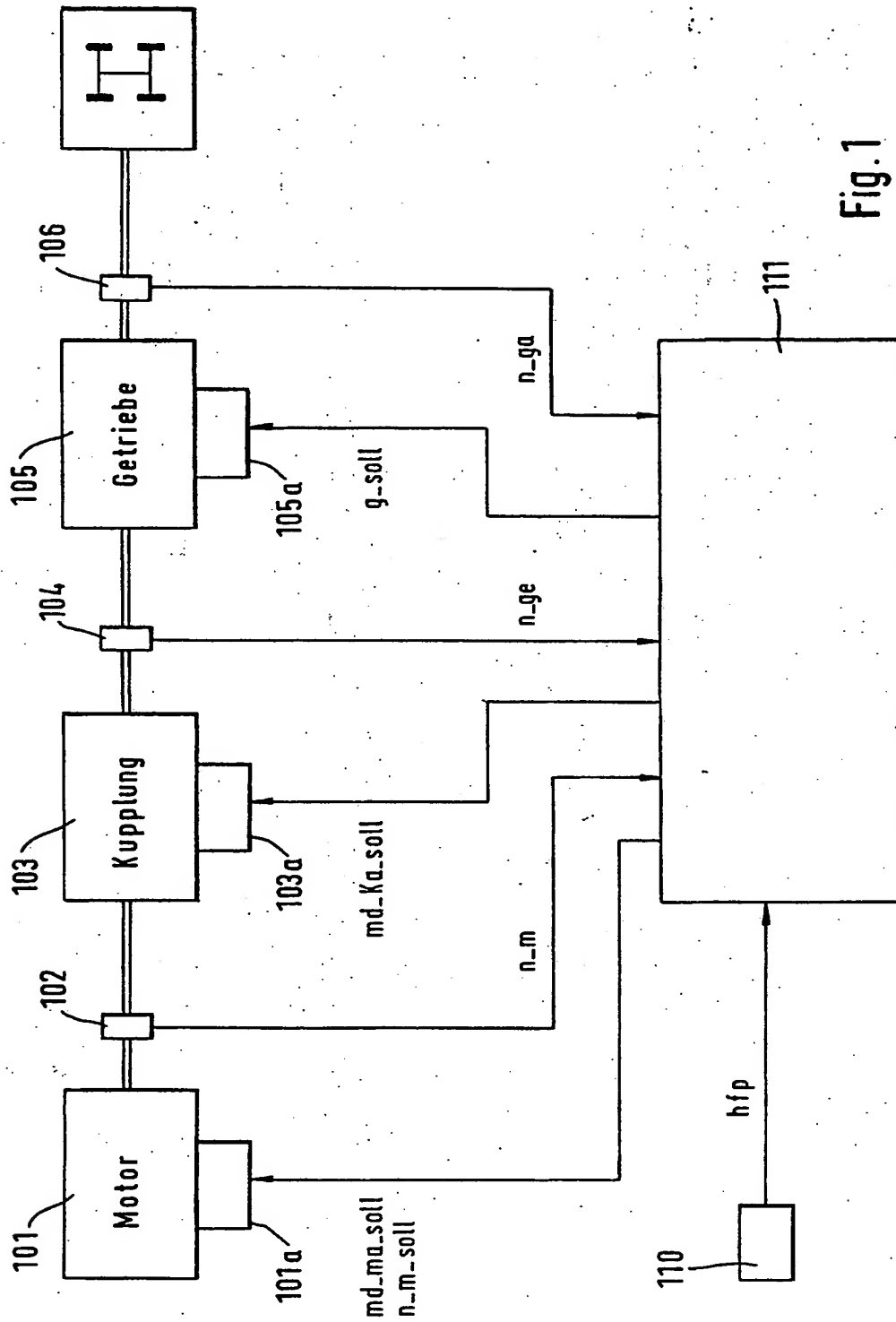
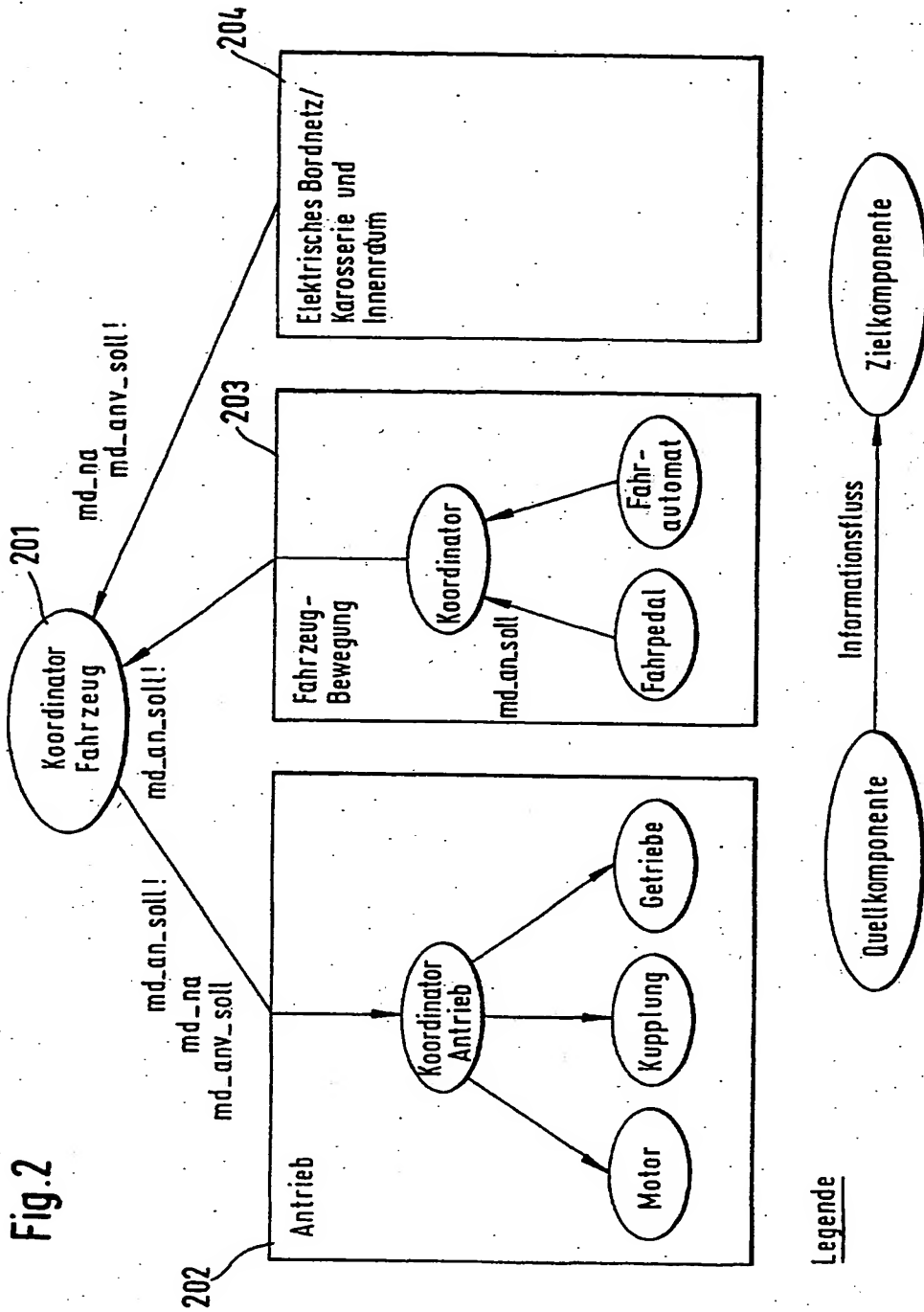


Fig.1





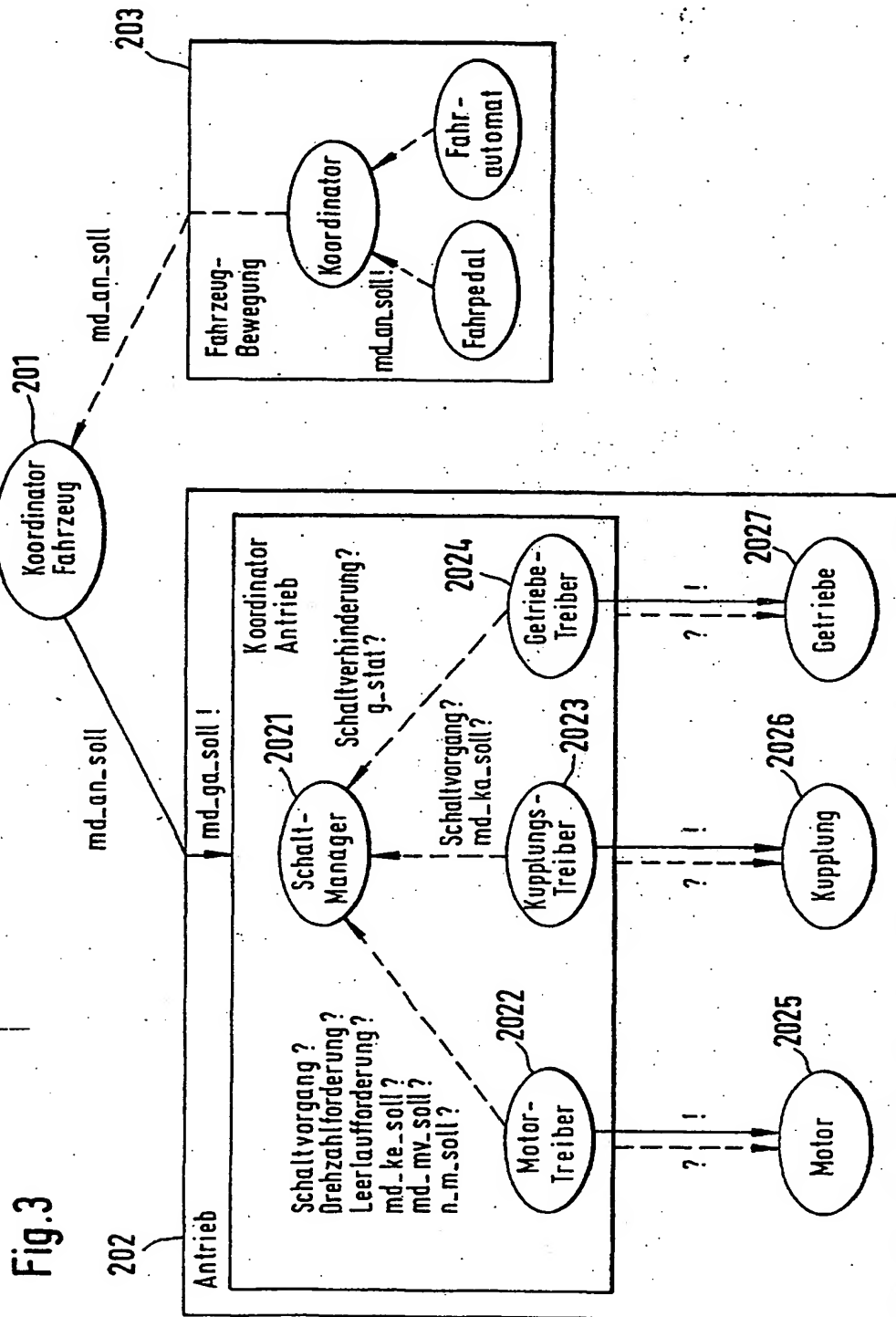


Fig. 4

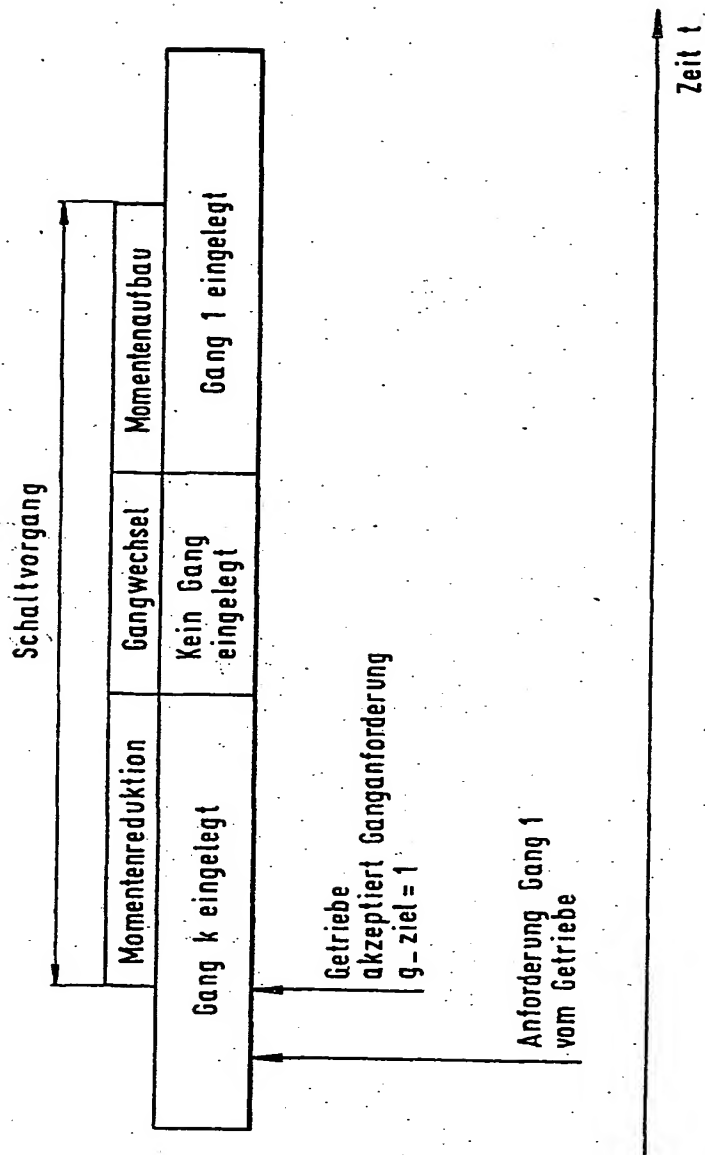
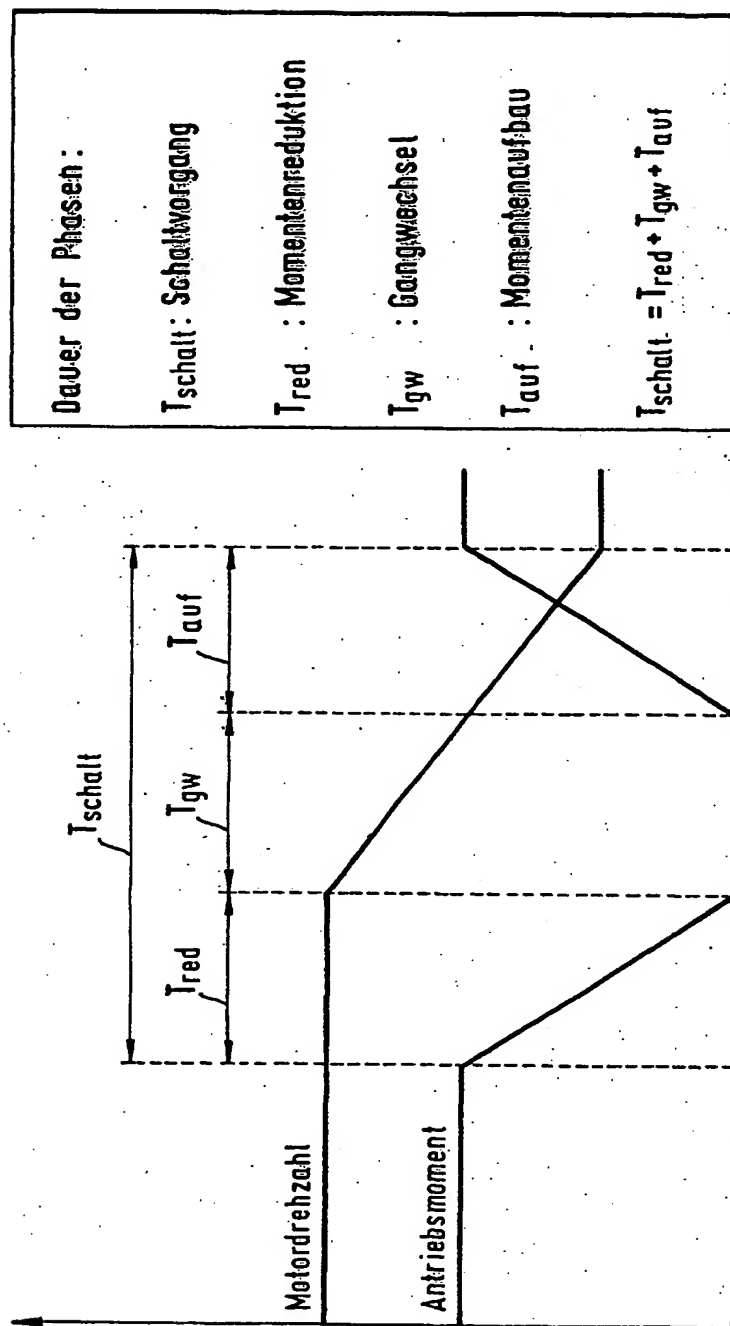


Fig.5



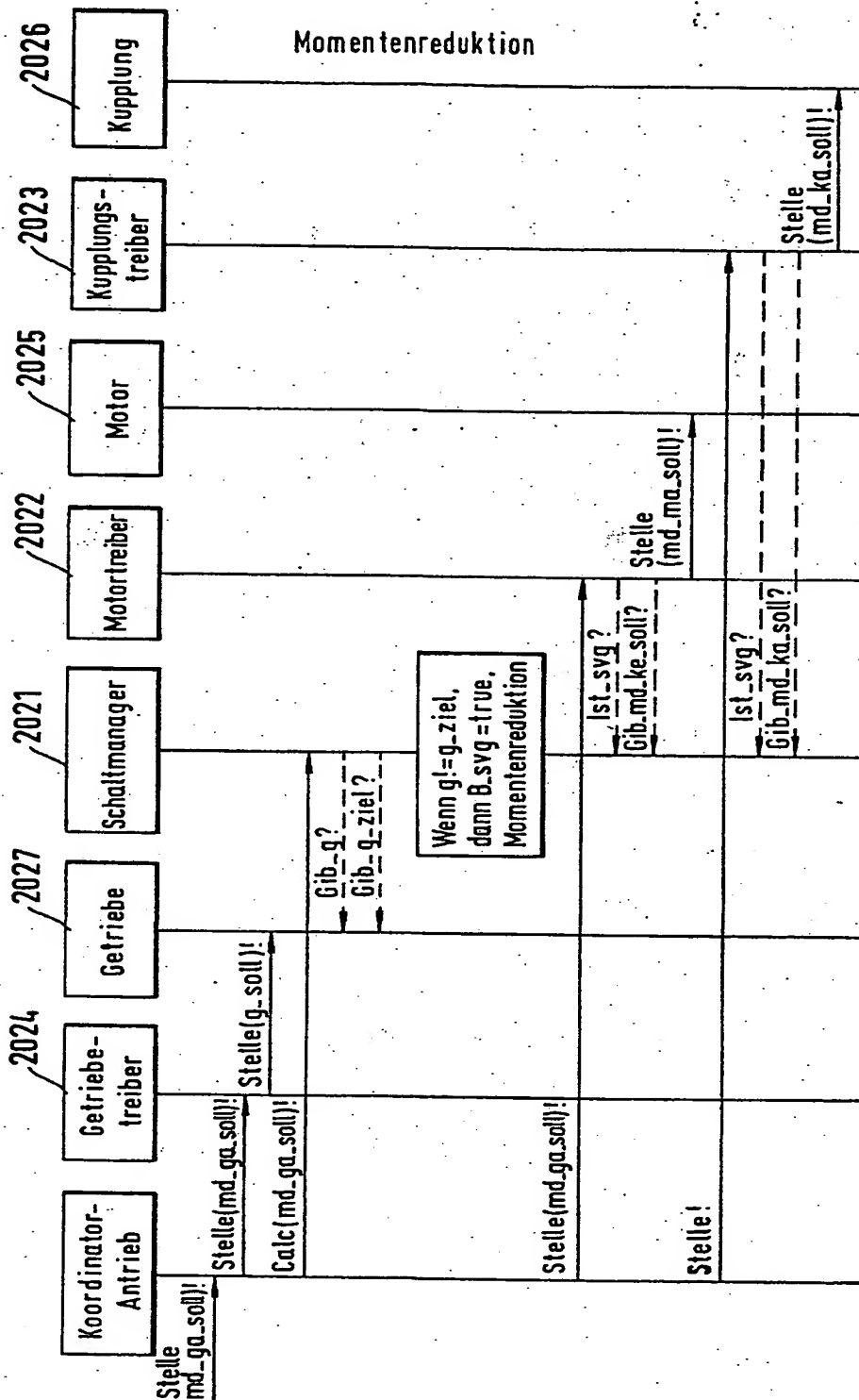


Fig.6a

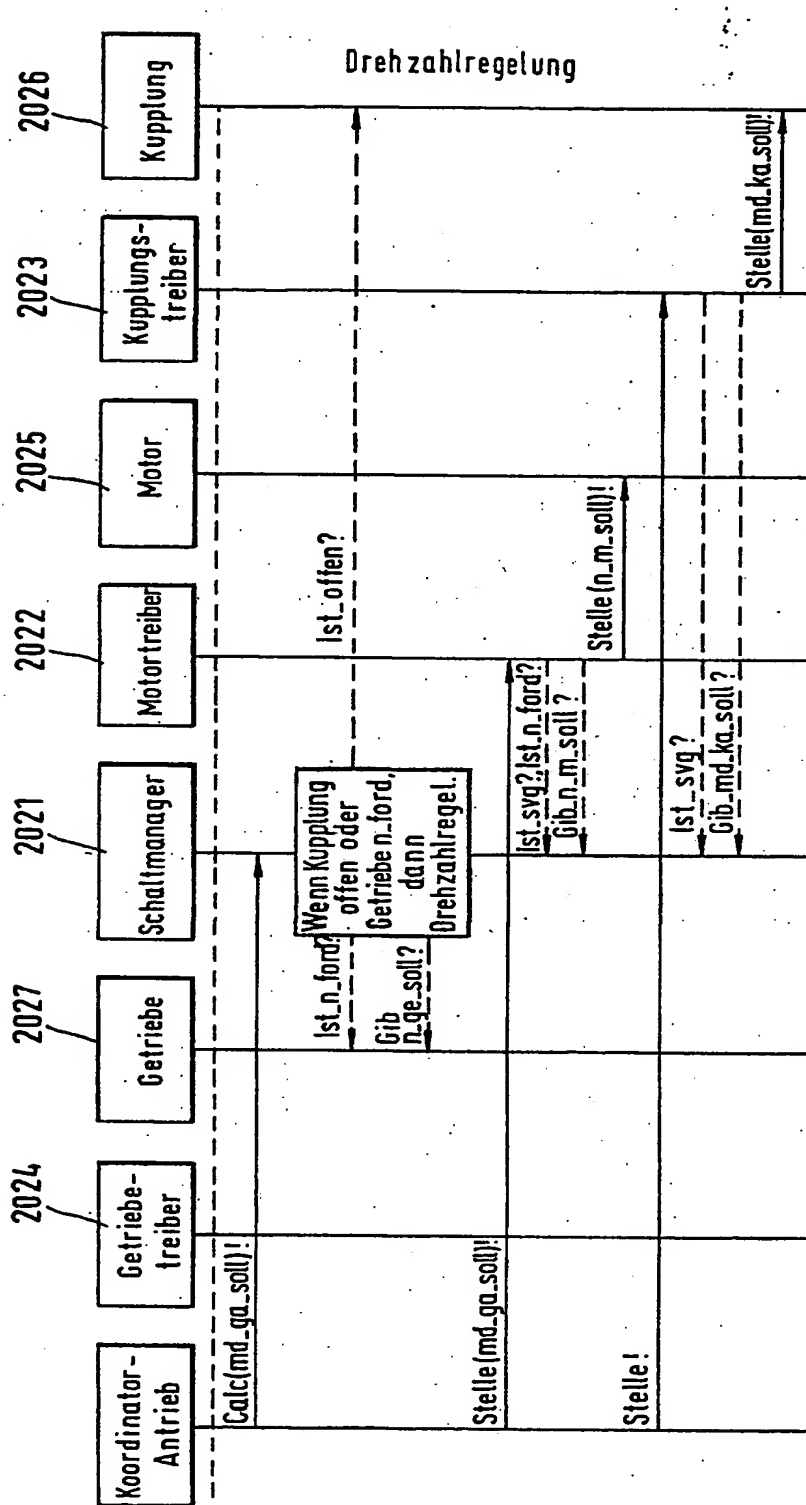


Fig.6b

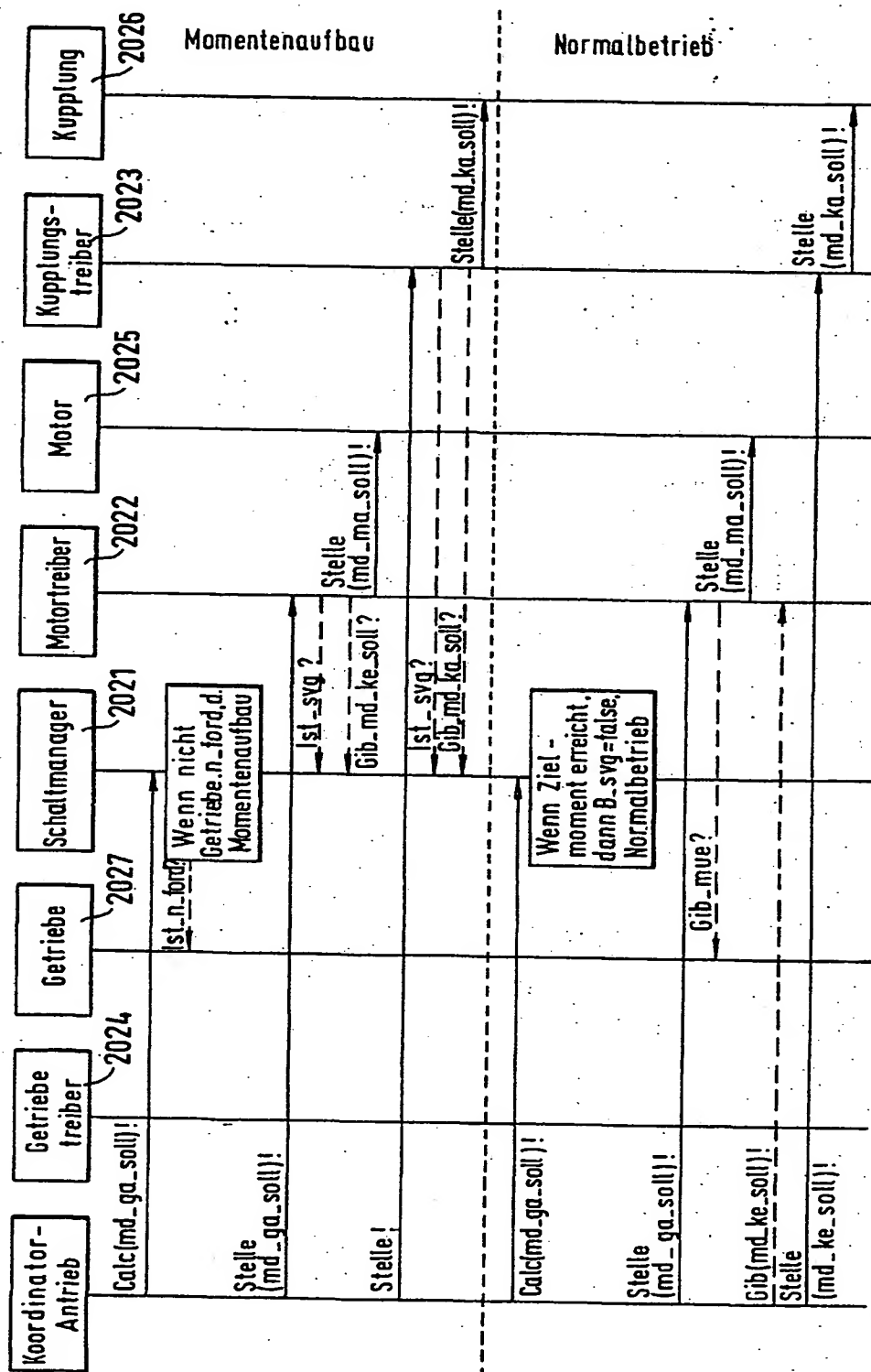
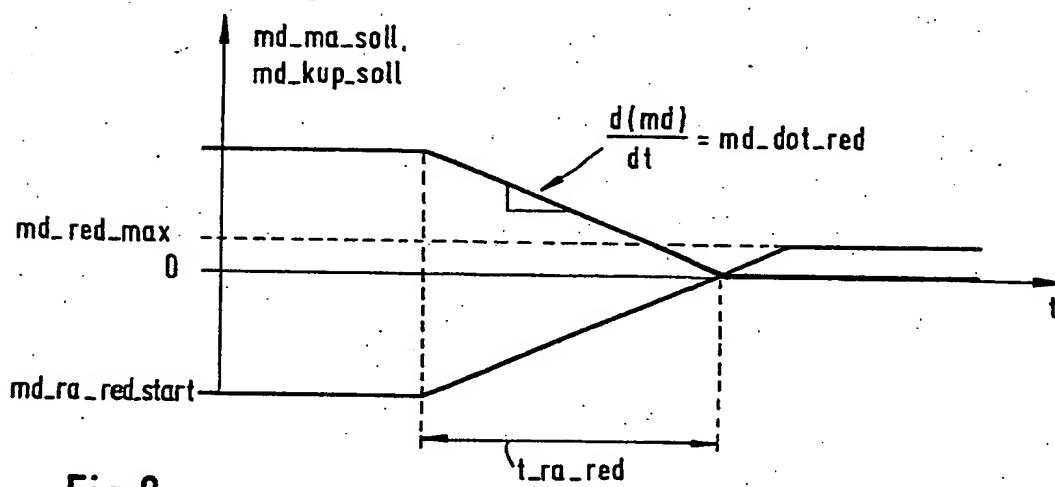
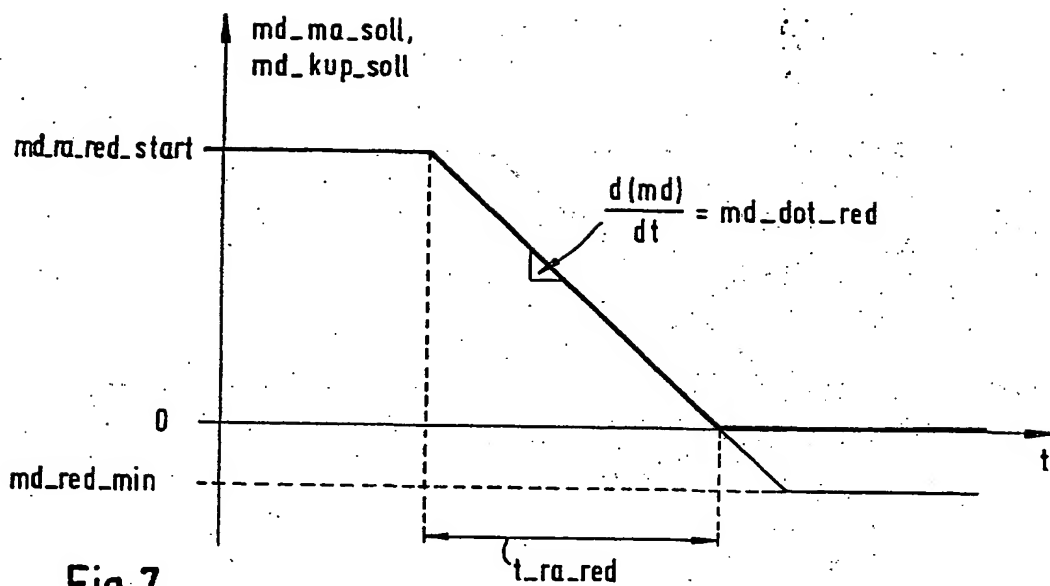


Fig.6c



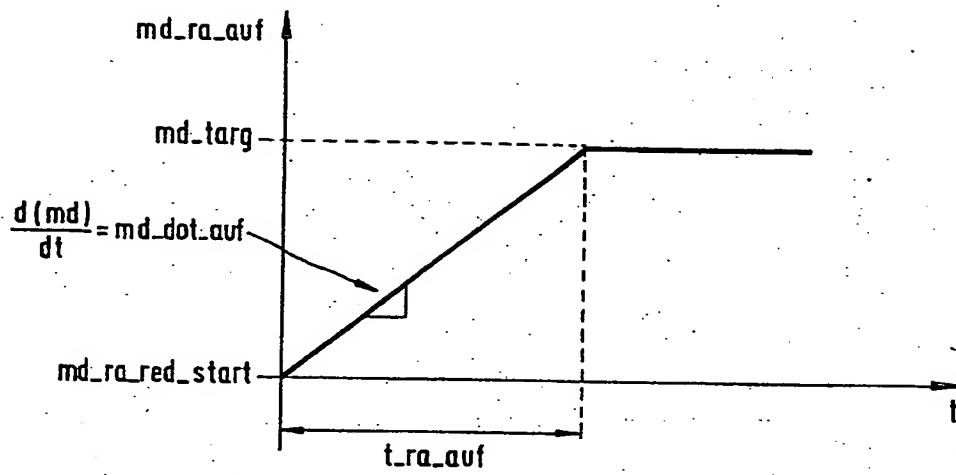


Fig.9



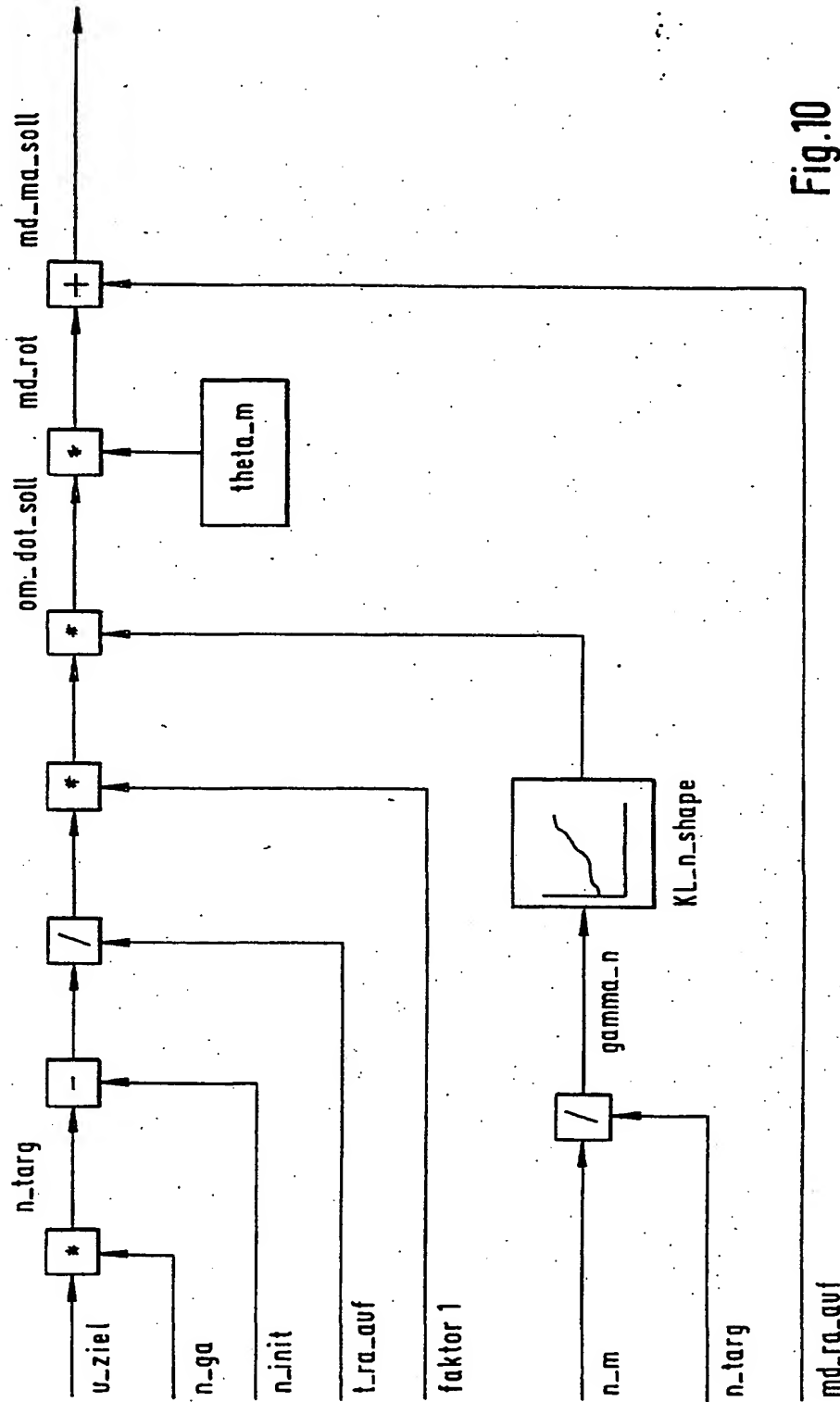


Fig.10

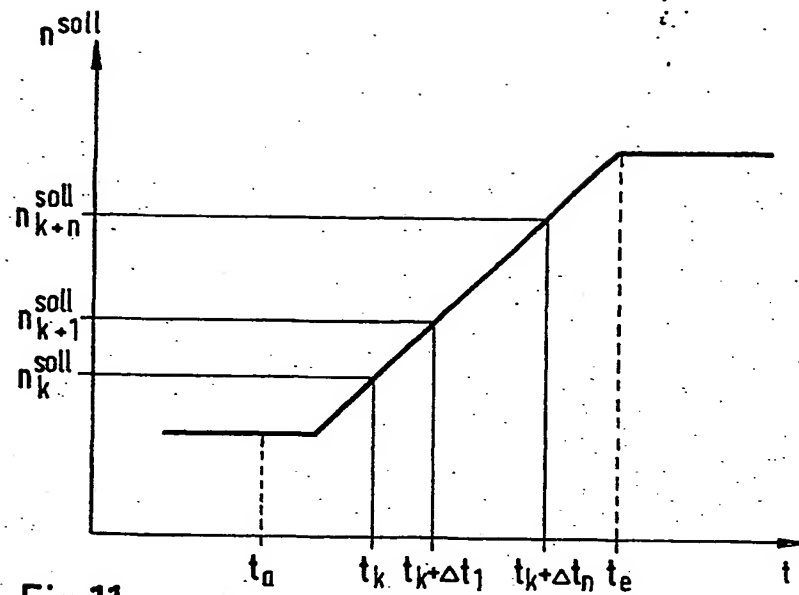


Fig. 11

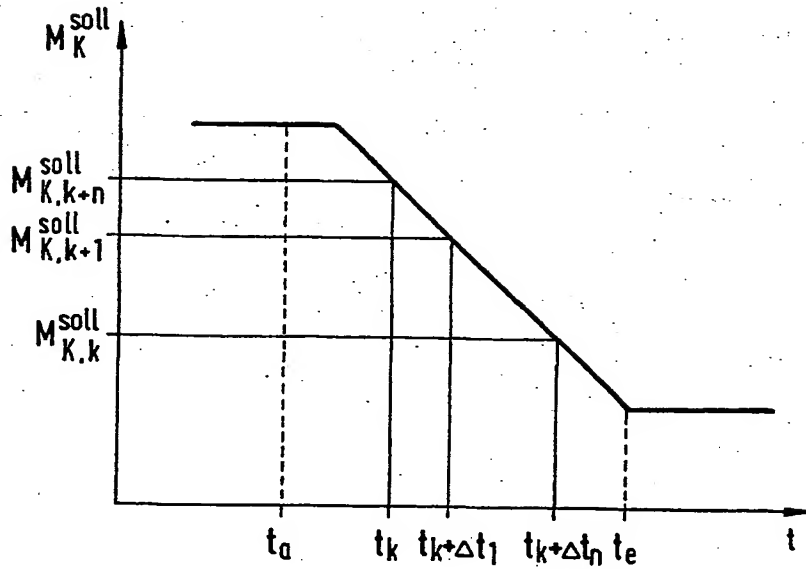


Fig. 12

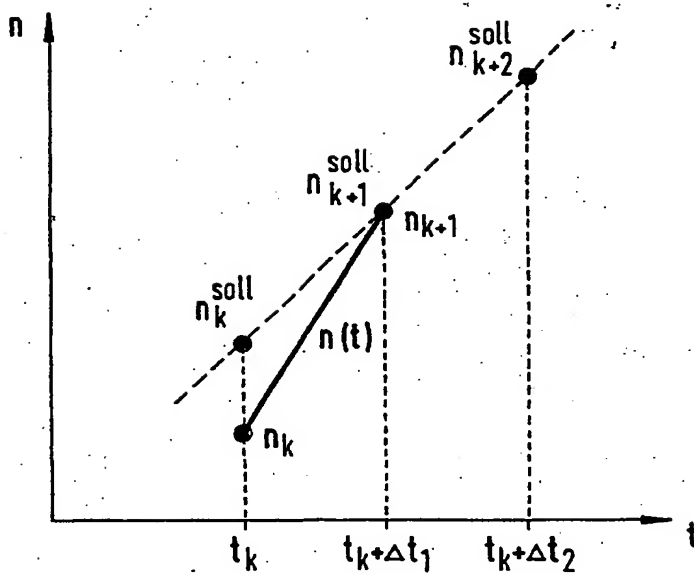


Fig.13

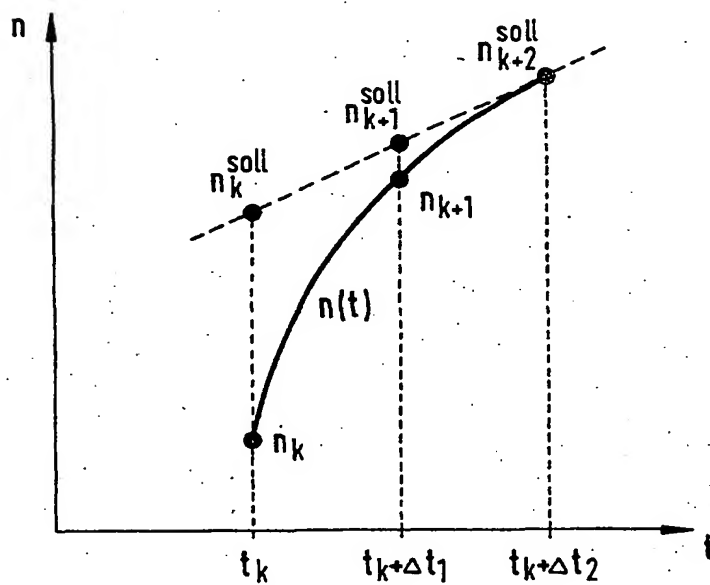


Fig.14

Fig.15

